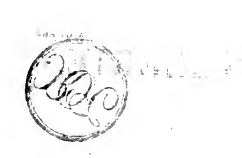



FONDO PIZZOFALCONE

MÉMORIAL

DE

L'ARTILLERIE.



MÉMORIAL

DE

L'ARTILLERIE,

OU

RECUEIL DE MÉMOIRES,

EXPÉRIENCES, OBSERVATIONS ET PROCÉDÉS

RELATIFS AU SERVICE DE L'ARTILLERIE;

RÉDIGÉ PAR LES SOINS DU COMITÉ,
AVEC L'APPROBATION DU MINISTRE DE LA GUERRE

N°. III.



PARIS.
IMPRIMERIE ET FONDERIE DE FAIN,
RUE RACINE, N. 4, PLACE DE L'ODÉON.

1830.



MÉMORIAL
DE
L'ARTILLERIE.

RAPPORT
AU MINISTRE DE LA GUERRE
SUR LES
PRIX D'ENCOURAGEMENT.

Extrait du Registre des Délibérations du Comité de l'Artillerie.

SÉANCE DU 1er. JUIN 1830.

Conformément à l'avis du comité de l'artillerie du 1er. février 1828, trois questions ont été proposées pour les prix d'encouragement affectés au concours de 1829; la première, déjà proposée en 1826 et mise au concours pour la seconde fois, avait pour objet la détermination de la charge des cartouches d'infanterie. La seconde était re-

lative à la mesure de la force de la poudre, et la troisième, à la recherche des portées moyennes dans le tir des bouches à feu.

Seize mémoires ont été présentés; trois sur la première question, dix sur la seconde, et trois sur la troisième. Le comité de l'artillerie les a examinés avec le plus grand soin, en s'aidant des lumières de M. Poisson, examinateur de l'artillerie, et de M. Gay-Lussac, inspecteur des opérations chimiques du service des poudres et salpêtres. L'analyse suivante présente le résultat de cet examen.

Première question. « Établir pour les cartou-
» ches d'infanterie la relation qui doit exister
» entre le poids de la balle, l'espèce et le poids
» de la poudre, le vent, le calibre et la longueur
» du canon, et le poids du fusil, à l'effet d'obte-
» nir la portée la plus avantageuse, et de dimi-
» nuer en même temps le recul autant que possi-
» ble. Rechercher quelle peut être l'influence sur
» la portée et sur le recul, de la pression résul-
» tante de l'action de bourrer; comparer sous
» ces divers points de vue les armes de l'infante-
» rie étrangère avec celles de l'infanterie fran-
» çaise. Discuter les principales expériences faites
» sur cet objet, et à défaut d'expériences suffi-
» santes, proposer le programme de celles que
» l'on croirait nécessaire de faire, pour parvenir
» à la solution complète de la question.

» Examiner les avantages et les inconvéniens » à la guerre de l'emploi de deux espèces de car- » touches de poids et même de calibres différens, » l'une pour les armes de l'infanterie, et l'autre » pour celles de la cavalerie. Comparer les usages » des diverses puissances étrangères à cet égard. »

Sur les trois mémoires dans lesquels cette question est traitée, deux ont particulièrement fixé l'attention du comité. Le premier porte pour épigraphe : *N'attendez rien du praticien borné et dépourvu de principes; conduit par une routine aveugle, il vous montrera souvent hors de nécessité, et peut-être sans s'en apercevoir, le même effet sous différentes faces; ou il assemblera au hasard plusieurs faits dont il ne saura expliquer les différences. Il n'existe pas de science sans raisonnement, ou, ce qui est la même chose, sans théorie.* (Nouvelles expériences sur la résistance des fluides, par d'Alembert, Condorcet et Bossut, membres de l'Académie royale des Sciences, année 1771.)

Ce mémoire avait déjà été présenté au concours précédent, et le second numéro du Mémorial en contient une analyse succincte. L'auteur l'a retiré pour le revoir, ainsi que le comité l'y avait invité. Il a donné plus d'extension et de développement à plusieurs parties de son travail, et en a supprimé quelques-unes qui n'avaient pas un rapport direct avec la question proposée.

Dans son état actuel, ce mémoire se compose de six chapitres. Le premier, qui n'a reçu aucune modification, est consacré à établir les théories balistiques de l'auteur, et à faire connaître les principes d'après lesquels il propose une nouvelle planchette, sous le nom de *planchette de l'artilleur*. Dans le chapitre suivant, il applique cette théorie à la construction et au tir des armes à feu portatives. Pour simplifier, il admet d'abord l'instantanéité de l'inflammation de la poudre. Il admet également que le gaz développé dans la déflagration de la charge est éminemment élastique, et produit une force motrice que l'on peut regarder comme faisant équilibre à un certain nombre d'atmosphères, nombre qui n'est pas le même pour les différentes espèces de poudre. Il examine les trois modes de charger les armes à feu portatives : à balles égales au calibre du canon, à balles plus fortes, et à balles plus faibles ; discute l'influence que peuvent exercer sur les portées, la forme du canon, celle de la chambre qui reçoit la charge, le vent, et la position de la lumière. Il donne la préférence à la position qui correspond à la partie postérieure de la charge, et adopte cette hypothèse pour les calculs qu'il établit, et dans lesquels il fait d'abord abstraction du vent et de la lumière, pour tenir compte plus tard des pertes qui leur sont dues. Il présente ensuite une théorie

basée sur l'inflammation successive de la poudre, théorie qui le conduit à des formules qu'il reconnaît lui-même trop compliquées pour pouvoir être de quelqu'utilité.

Passant à l'application de ses principes au mouvement des projectiles dans les armes à feu, il établit une suite de formules pour résoudre théoriquement la première partie de la question.

Il s'occupe ensuite de l'examen des diverses parties du fusil, et principalement de la platine. Tout en reconnaissant les avantages inhérens à l'emploi des amorces à percussion, elles ne lui paraissent pas admissibles pour les armes de guerre, et il regarde la platine à silex comme renfermant tous les élémens qui constituent un mécanisme simple et parfaitement approprié à l'objet qu'il doit remplir. Il discute les causes des ratés, et cherche les moyens d'y remédier, ainsi qu'au crachement. Il détermine ensuite la position respective des diverses pièces de la platine, de manière à établir entre elles la relation la plus avantageuse, et à obtenir ainsi ce qu'il appelle *la meilleure platine théorique*. Enfin il applique le calcul à la recherche de l'épaisseur à donner au canon de fusil, pour le rendre capable de résister à l'effort du fluide développé dans l'inflammation de la poudre. Il termine ce deuxième chapitre en faisant observer que l'application de ces diverses expressions théoriques exige que l'on

ait auparavant fixé la manière de prendre les moyennes, et la discussion de ce mode fait le sujet du troisième chapitre. Dans le quatrième, il présente le programme des expériences à faire, pour compléter pratiquement la théorie du mouvement des projectiles dans les armes à feu. Ces expériences ont pour objet de déterminer les lois de la transmission ignée, celles du recul, de la résistance des milieux, l'action des gaz de la poudre, etc.

La première partie du cinquième chapitre est consacrée à l'exposition d'un nouveau mode que l'auteur propose pour l'épreuve des poudres. Il fait observer à ce sujet que c'est moins à chercher ce que l'on appelle *la force* de la poudre qu'il faut s'attacher, qu'à régler convenablement les charges relatives à différentes espèces de poudres, satisfaisant aux besoins du service, et dont on sait la manière de se comporter dans tel ou tel cas. Au reste, l'auteur reconnaît lui-même que son système serait d'une application longue et difficile dans la pratique. Il s'occupe ensuite du bourrage; il commence par rappeler que l'instantanéité d'inflammation réalise avec une charge donnée le maximum de vitesse initiale, et qu'en même temps la réduction de la capacité où est placée la poudre, contribue à diminuer le recul; sous ce double rapport, le bourrage lui paraît avantageux, lorsqu'il n'est pas assez violent

pour briser les grains de poudre et les réduire en poussier. Il discute les différens cas de la poudre ronde ou anguleuse, à gros ou à petits grains, et est amené à conclure que le bourrage prescrit par le règlement d'infanterie est convenable.

Dans la première section du sixième chapitre, l'auteur s'occupe de la détermination des diverses constantes qui entrent dans ses formules théoriques. Pour répondre à la partie de la question relative à la comparaison des armes françaises et étrangères, il s'appuie sur quelques résultats d'expériences, d'après lesquelles il établit une suite de calculs pour parvenir à connaître les probabilités d'efficacité du tir de cinq fusils, dont un français, un anglais, un prussien, un russe et un suédois, aux distances de cent, deux cents, trois cents et quatre cents pas. Enfin il cherche à en déduire toutes les conditions auxquelles doit satisfaire un fusil pour être le meilleur possible.

Relativement à la dernière partie de la question, il se prononce pour l'admission de deux cartouches différentes, l'une pour le fusil, et l'autre pour le pistolet.

Ainsi que le comité s'est plu à le reconnaître dans le jugement du précédent concours, l'auteur de ce mémoire remarquable possède des connaissances très-étendues en analyse et en mécanique. Il n'a pas craint d'aborder dans toute

sa généralité, et souvent avec succès, la question très-compliquée du tir des armes à feu; mais il est à regretter qu'il ait envisagé la première partie de cette question sous un point de vue trop général et purement théorique, et qu'il n'ait pas assez consulté l'expérience; en sorte qu'en admettant même la parfaite exactitude des formules auxquelles ses calculs l'ont conduit, il semble qu'il aurait plutôt donné les moyens d'arriver à la solution de la question, qu'il ne l'aurait réellement résolue. Quelques-unes des théories de l'auteur, telles que la manière dont il apprécie les pertes de force dues au vent et à la lumière, la théorie des moyennes qu'il présente, la méthode qu'il suit pour la détermination des constantes, etc., sont d'ailleurs sujettes à contestation. Enfin les diverses parties de son travail pourraient recevoir un classement plus méthodique et plus convenable.

Si l'auteur de ce mémoire n'a pas résolu d'une manière complète la question proposée, son travail n'en est pas moins recommandable par les recherches nombreuses qu'il a exigées, par l'instruction étendue dont il est la preuve, par les aperçus utiles qu'il renferme et par les expériences neuves et souvent ingénieuses qui y sont proposées. Le comité pense, en conséquence, qu'il mérite une mention honorable.

Le second mémoire, distingué par le comité

porte pour épigraphe : *Sous un dosage constant, et toutes choses égales d'ailleurs, la force absolue d'un poids donné de poudre est d'autant plus grande,*

1°. *Que le charbon est plus hydrogéné;*

2°. *Que la trituration des matières est plus parfaite;*

3°. *Que leur mélange est plus intime et plus homogène;*

4°. *Que la densité du grain est moindre;*

5°. *Que la granulation est plus petite jusqu'à une certaine limite;*

6°. *Que le grain contient moins d'humidité.*

L'auteur, avant de traiter d'une manière spéciale la question proposée, s'occupe, dans la première partie de son mémoire, de préparer les élémens de la solution. Considérant les effets de la poudre dans les armes à feu en général, il recherche successivement les moyens de mesurer sa force et de déterminer sa nature.

La seconde partie a pour objet de fixer d'après l'expérience, pour chacune des armes portatives, l'espèce et le poids de la poudre qui remplit le mieux toutes les conditions du service.

Le comité a cru devoir, dans l'appréciation de ce mémoire, faire abstraction de la première partie, qui ne se rattache qu'indirectement au sujet, et que l'auteur annonce avoir reproduite dans un autre mémoire sur la seconde question

mise au concours. Dans la seconde partie, il se propose de résoudre toutes les questions relatives aux armes portatives d'après les seules données de l'expérience, afin d'éviter les aberrations auxquelles pourrait conduire la théorie, appliquée à une pareille matière.

Il commence par établir les conditions que doit remplir la poudre la plus convenable au tir des armes portatives. Ces conditions sont : 1°. d'imprimer aux projectiles, avec la moindre charge, la quantité de mouvement propre à constituer la force utile ; 2°. de produire la quantité de mouvement de recul la plus tolérable ; 3°. de présenter, dans toutes les circonstances relatives au transport et à l'absorption de l'humidité, la plus grande aptitude à sa conservation.

Ces bases posées, l'auteur compare les différentes espèces de poudre, sous le rapport de leur nature et de leur force dans les armes, à la poudre fabriquée par le procédé des pilons ; et il adopte en même temps, pour terme de comparaison de ces armes, le fusil d'infanterie (mod. 1777 corrigé), auquel il applique l'ancienne charge de 11^{gr},20, avec la balle de 24^{gr},9 (de 20 à la livre).

Le tableau des expériences, servant de guide aux comparaisons établies, offre deux divisions principales : l'une relative aux caractères distinctifs des poudres éprouvées, l'autre indiquant

les effets dynamiques des charges, savoir : la quantité de mouvement imprimée à la balle, sa vitesse initiale, la quantité de mouvement du recul, le poids de l'arme montée et la vitesse initiale rétrograde de l'arme. Les forces utiles des charges sont déduites des oscillations du pendule balistique; les forces de recul sont également déduites de l'oscillation de l'arrière-pendule, en y plaçant successivement les armes éprouvées. L'auteur conclut de ces expériences que la poudre la plus convenable aux armes à feu portatives est celle qui pèse par litre au moins 820 grammes, sous la granulation de 1^{mil}. à 1^{mil}, 40; le poids du charbon distillé représentant 30 pour cent du bois de bourdaine sec.

Il s'occupe ensuite de la détermination du poids de la charge du fusil d'infanterie. Cherchant à déduire de plusieurs séries d'expériences l'influence de la lumière, du vent, de la résistance du mobile, de la longueur du canon et de la surface du fond de l'âme, il évalue à un dixième environ la perte de la force qui a lieu par la lumière, et propose de nouvelles expériences pour confirmer ce résultat, en le rendant indépendant des causes de perturbation qui peuvent provenir de l'emploi d'une amorce fulminante. Il établit que la suppression du vent est avantageuse à la portée, mais reconnaît en même temps que, pour empêcher l'encrassement du canon de présenter

après un petit nombre de coups un obstacle à l'introduction de la cartouche, il est indispensable de maintenir un certain vent dans les armes de guerre. Il admet, comme conséquence des considérations précédentes, que c'est à la diminution du vent, jointe à l'accroissement du poids de la balle, que le fusil de 1822 doit l'avantage de fournir, sous une moindre charge, les mêmes quantités de mouvement que le fusil de 1777 corrigé. Il propose deux séries d'expériences pour déterminer l'influence de la longueur du canon ; mais il tire, des résultats de quelques expériences incomplètes qu'il rapporte, l'induction que pour la charge et le poids des balles en usage la dimension de l'âme est encore très-éloignée de la limite qu'on peut apporter à l'accroissement de cette longueur. Passant à la comparaison de la force utile à la force du recul, il établit que cette dernière est sensiblement le tiers de la première. Il en conclut que tout ce qui tend à accroître la quantité de mouvement du recul, dans les limites de son admission, tend également à accroître la puissance dynamique de l'arme, et il propose, comme moyen d'atteindre à ce but et en même temps de rendre plus tolérable l'effet du recul, d'augmenter la surface de la crosse, ainsi que le poids du fusil, et de diminuer la surface du fond de l'âme. Il reconnait que l'action de bourrer en ramenant la charge

à son moindre volume, en augmentant la tension des gaz et la résistance de la balle, est favorable à la portée; mais il la regarde comme une cause de perturbation dans le tir, à raison de l'irrégularité des mouvemens du soldat, et propose d'y substituer dans les épreuves la pression d'un poids de 5 kil., placé sans secousse sur la tête de la baguette. Il estime que si l'on voulait accumuler tous les avantages dus à la platine percutante, à la réduction du vent, à l'augmentation de la longueur du canon, on pourrait réduire d'un tiers le poids de la charge.

Relativement à la comparaison des fusils français et étrangers, l'auteur fait observer que, toute modification tendante à l'accroissement de la force utile touchant de près à un inconvénient, chaque puissance a choisi une construction particulière, en sacrifiant tel avantage à tel autre qu'elle a jugé plus important. Il reproduit ensuite des expériences rapportées par Scharnhorst sur des fusils français, anglais, suédois, prussiens et russes.

Il admet des cartouches de même calibre, mais de poids différens, pour les armes de l'infanterie et celles de la cavalerie. Enfin, comparant la poudre ronde à la poudre anguleuse, il donne la préférence à la première, malgré ses inconvéniens reconnus, à raison de la plus grande simplicité de la fabrication et de la régularité du

grain, qui, selon lui, en rendant la combustion plus uniforme, et la force motrice plus constante, prévient les anomalies dans le tir et en assure la précision.

L'auteur de ce mémoire a traité, ainsi qu'on le voit, toutes les parties de la question proposée. Guidé surtout dans ses recherches par l'expérience, il s'appuie constamment sur les données de l'observation, et ses assertions théoriques servent plutôt d'explication que de principes aux conclusions qu'il établit. Les résultats de ce travail paraissent avoir été obtenus d'après un examen bien réfléchi de la matière, et les investigations auxquelles l'auteur s'est livré sont en général judicieuses et faites en conscience. Néanmoins on doit reconnaître que quelques-unes de ses opinions sont hasardées, et que les conséquences qu'il déduit des expériences ne sont pas toujours d'accord avec les résultats qu'elles présentent. D'après ces considérations, le comité n'a pas pensé que ce mémoire offrît une solution assez satisfaisante pour mériter un prix, mais il l'a également jugé digne d'une mention honorable.

Deuxième question. « Définir ce qu'on doit » entendre par force de la poudre; chercher » quelles sont les circonstances du tir et les in- » strumens les plus propres à mesurer cette » force; quelles conséquences il est permis de » tirer des indications de ces instrumens.

» Discuter et comparer les moyens en usage » et ceux que l'on pourrait proposer pour éprou- » ver les poudres de guerre, tels que éprouvettes » de main, à crémaillère, hydrostatique, à pen- » dule, à globe, etc.

» Examiner s'il ne conviendrait pas d'avoir » des instrumens de différentes espèces pour ob- » tenir des résultats comparables aux effets des » différentes poudres dans des armes différentes. »

Ainsi qu'on l'a déjà annoncé, dix mémoires relatifs à cette question ont été envoyés au concours. Sans en présenter une solution complète, qu'il était peut-être difficile d'espérer dans l'état actuel des connaissances physiques et chimiques, plusieurs de ces mémoires indiquent dans leurs auteurs des connaissances étendues et surtout un désir louable d'être utile et de se distinguer (1).

---

(1) Au lieu de s'appuyer sur les faits et sur les résultats de l'expérience, quelques concurrens se sont trop attachés à des considérations purement spéculatives, et se sont laissés entraîner à adopter de confiance des opinions avancées par divers auteurs, et à les faire servir de bases à tous leurs raisonnemens. S'ils eussent discuté mûrement et approfondi ces opinions, ils auraient reconnu que trop souvent ceux qui les ont émises n'ont tenu compte que d'une partie des nombreuses considérations qui ont de l'influence sur les résultats du phénomène de l'explosion de la poudre; en sorte que les conséquences qui s'en déduisent manquent d'exactitude,

Deux d'entre eux ont paru au comité avoir mérité d'être plus particulièrement remarqués.

---

ou que n'étant vraies qu'entre certaines limites, elles ne doivent pas être généralisées. C'est surtout relativement à la mesure de *la force* de la poudre que les opinions ont été le plus divergentes. Quelques-uns des concurrens ont bien établi la distinction qu'il faut faire entre *la force absolue* de la poudre et la portion très-variable de cette force qui est utilisée dans les différentes armes à feu, ou qui est indiquée dans les diverses espèces d'éprouvettes. L'évaluation de la force absolue, dont la connaissance pourrait être utile pour les mines, les projectiles creux, l'exploitation des carrières, etc., n'est cependant pas la plus essentielle à obtenir. Ce qu'il importe de connaître, c'est la partie de cette force qui est utilisée, et qui souvent est plus variable pour une même poudre, suivant la manière dont elle est employée, que pour deux poudres de qualités différentes. La quantité de mouvement imprimée aux différentes espèces de projectiles dans chacune des armes en usage, donne la mesure de cette force pour la poudre de guerre, et c'est sous ce point de vue que doivent être considérées les épreuves, indépendamment des qualités physiques que toute poudre doit posséder pour être propre au service. La meilleure épreuve d'une poudre serait celle qui serait faite dans l'arme à laquelle elle est destinée, et dans les mêmes circonstances où elle est employée. Mais ce mode d'épreuve exige des appareils et des localités qui le rendent impraticable ailleurs que dans des expériences spéciales et faites à grands frais. En effet, la même poudre étant destinée à toutes les bouches à feu, elle devrait être éprouvée dans toutes et de toutes les manières

Le premier porte la devise suivante : *Mesurer et peser, voilà les deux grands secrets de la*

---

dont on l'emploie ; de plus, il faudrait mesurer directement la vitesse initiale du projectile dans chaque expérience ; l'observation des portées ne pourrait suffire, car les variations de ces portées étant moyennement de $\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{10}$ d'un coup à un autre, et quelquefois même d'un quart, la moyenne des résultats ne pourrait donner l'approximation nécessaire, qu'autant que le nombre des coups observés serait très-considérable. Les reculs seraient plus faciles à observer, mais l'expérience prouve qu'ils ne suivent pas la même loi que les vitesses des projectiles.

Ne pouvant donc employer les armes pour les épreuves habituelles de la poudre, il reste à savoir si on peut les remplacer par des instrumens plus usuels. On remarquera d'abord que, pour le service, il suffit que les indications de ces instrumens classent les poudres dans le même ordre que les armes, et fassent connaître les limites en dessous desquelles l'effet exigé n'est pas obtenu. Le dosage, la densité et la grosseur des grains de la poudre étant fixés et devant être vérifiés indépendamment de toute éprouvette, il est inutile que l'instrument indique si ces conditions sont satisfaites. Ces considérations conduisent à une grande simplification dans les épreuves, en ce qu'un même instrument peut alors indiquer la force relative de la poudre dans plusieurs espèces d'armes, et réduire ainsi le nombre des essais. Il suffit pour cela de chercher à établir la plus grande analogie possible entre l'instrument et les parties des armes dont la disposition a le plus d'influence sur les résultats, et de vérifier ensuite par l'expérience si la

physique et de la chimie. L'auteur commence par faire observer que de même que les machines

---

concordance existe, dans les limites voulues, entre les indications de l'instrument et l'effet des armes. Plusieurs concurrens, au contraire, ont considéré l'emploi de l'instrument comme devant être général, et ont voulu qu'il répondît à tout, sans considérer si les besoins du service assignaient des limites qu'il était inutile de franchir. Il paraît difficile d'obtenir une semblable éprouvette; et si on a cru l'avoir trouvée, c'est qu'on a négligé une partie des considérations inhérentes à la question. C'est ainsi que l'on a proposé de juger de toutes les qualités d'une poudre par l'emploi d'un seul gramme, sans faire attention à l'influence immense qui peut résulter de la moindre différence dans le diamètre et l'arrangement d'un si petit nombre de grains.

D'après ce qui précède, on concevra facilement comment l'examen du mortier éprouvette d'ordonnance a pu donner lieu à des jugemens différens dans les divers mémoires, et quelquefois même dans les diverses parties d'un même mémoire. Souvent ces jugemens ont été basés sur des considérations purement théoriques, qui ne sont pas d'accord avec les résultats que l'on obtient dans la pratique. Des expériences spéciales faites avec beaucoup de soin à la poudrerie d'Esquerdes, en 1826 et 1827, ont donné directement les relations qui existent entre les indications du mortier éprouvette, et les vitesses imprimées aux balles dans le fusil d'infanterie, et aux boulets dans le canon de 4.

Il a été essayé 144 espèces de poudres de même dosage et de même qualité de matières, mais variant par le

n'emploient utilement qu'une partie de la force qu'on leur applique, les bouches à feu n'utilisent

---

lissage, le temps de la trituration, la grosseur du grain et la densité des galettes dont on la tirait. On a obtenu une régularité satisfaisante dans les résultats, car la différence d'un coup au suivant a été moyennement de $\frac{1}{83}$ pour le canon, de $\frac{1}{72}$ pour le fusil, et de $\frac{1}{77}$ pour l'éprouvette.

La poudre triturée pendant vingt-quatre heures n'a pas eu d'avantage au canon sur celle qui n'avait été triturée que six heures; au fusil, l'avantage a été de $\frac{1}{27}$; l'éprouvette a donné des résultats moyens entre le canon et le fusil.

La densité de la galette qui a donné la meilleure poudre à canon, était environ de 1,5; pour le fusil, elle a été de près de 1,4; pour la galette destinée à fournir de la poudre à canon et de la poudre à mousquet, la densité la plus favorable s'est trouvée comprise entre 1,4 et 1,5, un peu plus près de ce dernier nombre que du premier. C'est précisément cette densité qui a donné la plus grande portée au mortier éprouvette.

On a trouvé que dans le canon, dans le fusil, ainsi que dans le mortier éprouvette, les petits grains avaient constamment l'avantage sur de plus gros; que cet avantage était plus marqué dans le fusil, et que le mortier éprouvette tenait encore le milieu entre le fusil et le canon.

Cette concordance, qui existe entre les indications du mortier éprouvette et les effets de la poudre dans le fusil et le canon de 4, eût sans doute été encore plus grande dans l'ensemble des faits, ainsi que dans la comparaison des résultats particuliers, si l'instrument dont on s'est servi eût été dans un meilleur état; car il

aussi qu'une partie de la force totale de la poudre ; d'où il suit que si l'on veut comparer les forces

---

était déjà classé comme hors de service, après un tir d'environ 600 coups, qui avait augmenté le vent de trois points. L'analogie qui existe entre les principes de construction des mortiers et des obusiers et ceux de l'éprouvette, ainsi que la faiblesse de leurs charges relativement au diamètre et au poids de leurs projectiles, portent à penser que l'accord des résultats serait encore plus grand pour ces deux espèces de bouches à feu, que celui qui a été trouvé pour le fusil et pour le canon.

Les expériences précédentes ont été faites sur des poudres dont les différences dépassaient de beaucoup les limites fixées par le service, les densités ayant varié de 1,3 à 1,8 et la grosseur des grains de 1 mil. à 6 mil. 60, c'est-à-dire du grain de poudre à mousquet à un grain une fois et demi plus fort que celui de la plus grosse poudre de mine. On pourrait déjà en conclure que les indications du mortier éprouvette donnent d'une manière suffisamment approchée la mesure de la force des poudres de guerre ; mais les expériences qu'on va commencer à Esquerdes et à Douai, compléteront en même temps la solution de cette question et de celle de la dégradation des bouches à feu par les diverses espèces de poudres. Les poudres à canon et de mousqueterie fabriquées dans six poudreries, par les anciens et les nouveaux procédés, doivent y être essayées comparativement, dans des canons de 4 et de 12, dans le mortier de 10 pouces, dans le fusil d'infanterie, dans le mortier éprouvette neuf, en service et hors de service, ainsi que dans les autres éprouvettes en usage. Les vitesses initiales des balles et des boulets doivent être mesurées de deux

absolues des poudres au moyen de leurs effets partiels ; il faut que ces effets soient proportionnels aux forces réelles. Telle est, suivant l'auteur, la condition essentielle à laquelle doit satisfaire une bonne éprouvette. Le mortier ne lui paraît pas remplir cette condition, attendu que la même poudre, qui avec cet instrument aura eu la moindre portée, produira quelquefois le plus grand effet dans une autre bouche à feu ; ce qu'il attribue principalement à la perte de gaz qui a lieu par le vent et la lumière, perte beaucoup plus grande par rapport à la charge dans le mortier éprouvette, que dans toute autre bouche à feu. Il pense, en conséquence, que chaque espèce d'arme doit indiquer elle-même la poudre qui lui convient.

Après avoir rapporté les principales expériences de Rumfort sur la mesure de la force absolue de la poudre, il discute les effets des poudres *vives* et des poudres *lentes*, tant dans le fusil que dans le canon. Il pense que l'on parviendrait à reconnaître non-seulement le défaut, mais aussi l'excès de force des poudres : 1°. en estimant d'abord la force de la poudre par l'action de la totalité de la charge, ce qui exige que

---

manières, par une machine de rotation et par le pendule.

le mobile soit très-lourd ou l'âme très-longue, et qu'il ne se fasse aucune perte de fluides élastiques ; 2°. en estimant ensuite la force de cette même poudre par l'action d'une portion seulement de la charge, qui soit dépendante de la vitesse de combustion ; ce qui suppose que l'obturateur destiné à recevoir l'impulsion soit très-léger. L'emploi simultané de ces deux modes d'épreuve lui paraît propre à faire apprécier la force des poudres et leur degré d'inflammabilité. Il propose, pour remplir ce double objet, un instrument analogue à l'éprouvette à crémaillère, avec deux obturateurs, l'un pesant et l'autre léger. Il pense qu'il n'y a aucun inconvénient à faire cette épreuve sur une petite quantité de poudre, attendû qu'elle n'a pas pour objet de remonter des effets en petit à des effets en grand, mais seulement de comparer les forces respectives des poudres, et de leur assigner des caractères pour les reproduire toujours identiques et applicables à un objet déterminé.

Relativement à la détermination de l'espèce de poudre propre à chaque arme, il pense que c'est une expérience à faire une fois pour toutes, en y soumettant l'une après l'autre toutes les espèces de poudre que l'on fabrique. La poudre la plus convenable à une arme une fois déterminée, il suffirait, pour s'assurer qu'elle a été

reproduite identiquement, de constater ses effets à chacune des deux éprouvettes.

L'auteur examine successivement les diverses espèces d'éprouvettes en usage, qu'il distingue en éprouvettes *au poids* (mortier, fusil pendule) et éprouvettes *au volume* (éprouvette Régnier, à crémaillère). Il reproche au mortier éprouvette de laisser échapper beaucoup de gaz, inconvénient qui lui paraît d'autant plus grave que cette perte n'est pas la même pour toutes les espèces de poudre. Il indique les moyens qui lui semblent propres à rendre les épreuves au mortier plus certaines. Le fusil pendule tirant à balles lui paraît un bon instrument, mais qui ne peut être confié à toutes sortes de mains. L'éprouvette Régnier lui semble classer les poudres d'une manière assez régulière. Enfin, l'éprouvette à crémaillère lui paraît d'un bon emploi, mais elle présente des inconvéniens qu'il cherche à faire disparaître dans l'éprouvette qu'il propose. Dans ce dernier instrument, le mobile obturateur est lancé, librement suspendu à un fil, qui s'enroule sur une poulie au moyen d'un contrepoids. L'élévation du mobile est connue par le nombre de tours de la poulie, accusés par un indicateur. On emploie successivement deux obturateurs inégaux, l'un pesant, l'autre léger. L'auteur cherche ensuite à répondre aux diverses objections que l'on pourrait faire contre l'instrument qu'il propose.

Le mémoire dont on vient de présenter l'analyse se distingue par une grande netteté d'idées et une rédaction très-concise. L'auteur paraît très-versé dans l'art de la fabrication de la poudre, mais il n'en rapporte que ce qui peut éclairer son sujet. La première partie de son travail est surtout traitée d'une manière très-satisfaisante. Les notes qu'il a placées à la suite de son mémoire contiennent des observations d'un grand intérêt. L'éprouvette qu'il propose est ingénieuse, d'une construction simple ; mais on pourrait craindre, malgré l'assertion contraire de l'auteur, que la faiblesse de l'échantillon sur lequel on opère, ne permît pas d'obtenir des résultats comparables avec les effets de la poudre dans les bouches à feu. Du reste, le comité, sans partager entièrement les opinions énoncées dans ce mémoire sur divers points de théorie encore contreversés, se plaît à reconnaître que la justesse des observations, l'étendue des vues, la manière générale dont la question est envisagée, la découverte de plusieurs faits intéressans, enfin les connaissances variées dont l'auteur fait preuve, placent ce travail au premier rang, et il le regarde comme méritant d'obtenir le prix proposé pour la seconde question du concours.

Le mémoire qui se classe immédiatement après celui-ci, porte pour épigraphe : *Si parva*

licet componere magnis. L'auteur commence par poser la définition de la force de la poudre; cette force résulte, selon lui, de la propriété dont jouit cette substance de se transformer subitement en fluide élastique, et peut s'exprimer par la quantité de mouvement qu'imprime à un corps pesant le ressort de ce fluide; il décrit ensuite les divers phénomènes du tir, et signale la résistance de l'air, variable suivant une loi incertaine, comme une cause perturbatrice exerçant une grande influence sur les vitesses initiales et les portées.

Il divise en trois classes les divers modes d'épreuves : 1°. ceux qui sont fondés sur la portée; 2°. ceux dont la base est le recul; 3°. ceux dans lesquels on contrebalance la force de la poudre par une autre force. Il établit ensuite les conditions que doit réunir une bonne éprouvette; les principales sont : de placer toujours les poudres dans des circonstances parfaitement semblables; de mettre autant que possible l'échantillon de poudre à éprouver et la résistance qui lui est opposée, dans le même rapport que dans l'arme à laquelle la poudre est destinée; de donner des indications qui puissent conduire à l'appréciation des vitesses initiales. Il discute sous ces divers points de vue les différentes éprouvettes en usage. Il regarde comme un des défauts du mortier la capacité constante

de sa chambre, et propose divers moyens pour y remédier. Il ne pense pas que le reproche fait à cet instrument d'avoir une âme trop courte soit fondé; et, en comparant sa longueur à celle du canon de 12 de bataille, ainsi que les vitesses initiales imprimées aux deux projectiles, il en conclut que ces projectiles se trouvent placés dans des circonstances à peu près semblables, sous le rapport du temps pendant lequel ils restent exposés à l'action de la poudre. Il pense que pour prévenir la prompte dégradation de l'éprouvette, on pourrait réduire sa charge au poids de soixante grammes. Enfin, examinant l'influence que la vivacité de la déflagration peut exercer sur les effets produits, il cherche les moyens de la mesurer. Il établit à cet égard entre la transmission plus ou moins rapide de l'inflammation d'un grain à l'autre, et la promptitude de la combustion, une distinction dont la réalité paraît difficile à constater.

Considérant ensuite le pendule balistique comme moyen d'épreuve, l'auteur propose de substituer à la masse destinée à recevoir le choc du projectile, une sphère libre de se mouvoir après ce choc, et d'évaluer par l'amplitude de sa trajectoire, la vitesse du projectile qui l'a mise en mouvement. Il rapporte un assez grand nombre d'expériences qu'il a faites avec deux sphères de poids inégaux. Quant au recul, il pense,

d'après les expériences de Hutton, que c'est un moyen d'épreuve incertain.

Il reconnaît à l'éprouvette à crémaillère, l'avantage de donner, à l'aide d'un calcul très-simple, la quantité de mouvement dont l'obturateur est animé; mais il lui trouve l'inconvénient d'une chambre constante, celui des frottemens, etc. Il indique les moyens qui lui semblent propres à corriger ces défauts, et pense qu'en faisant varier convenablement le poids de l'obturateur, on pourra à volonté déterminer la combustion complète de la poudre, ou mesurer la force qu'elle déploie avant l'ébranlement du mobile. Enfin, il discute les avantages et les défauts de l'éprouvette à ressort de Régnier, et cite des expériences par lesquelles il a constaté que toute la poudre n'est pas brûlée dans le canon de cet instrument.

Ce mémoire annonce dans son auteur beaucoup d'instruction. Il paraît avoir bien compris l'ensemble de la question. Sa définition de la force de la poudre, les principes généraux qu'il pose pour les conditions auxquelles doit satisfaire une bonne éprouvette, la discussion qu'il établit sur les circonstances et les phénomènes du tir, sont remarquables par la netteté des idées et la justesse des principes. Mais dans l'application qu'il en fait, il n'est pas toujours d'accord avec lui-même, et plusieurs de ses propositions

ne sont pas suffisamment coordonnées entre elles. Il se distingue d'ailleurs parmi les concurrens, par le grand nombre d'expériences qu'il a faites, quoique avec de faibles moyens, et dont quelques-unes offrent un intérêt réel. Le comité pense en conséquence qu'il mérite d'obtenir une mention honorable.

Indépendamment des deux mémoires dont on vient de présenter l'analyse, le comité en a remarqué deux autres, qui, sans approcher autant que ceux-ci de la solution de la question, lui ont cependant paru dignes d'être cités avec éloge. L'un porte pour épigraphe : *Tentanda via est*; et l'autre,

Dans ces globes d'airain le salpêtre enflammé
Vole avec la prison qui le tient renfermé.
Il la brise, et la mort en sort avec furie.
(VOLTAIRE, *Henriade.*)

L'auteur du premier de ces mémoires examine successivement, 1°. comment se produit l'inflammation de la poudre, et quelle est la nature du gaz formé; 2°. quelle est sa tension ou sa force au moment de l'inflammation; 3°. quelle est la partie de cette force qui est utilisée dans les différentes armes; 4°. enfin, comment on mesure cet effet utile, ce qui l'amène à discuter les éprouvettes en usage et à en présenter une nouvelle. Il est à regretter que l'auteur n'ait

pas des notions assez précises sur les phénomènes physiques et chimiques de la combustion de la poudre; mais c'est de tous les concurrens celui qui a fait le plus d'efforts pour calculer l'action des fluides élastiques dans les armes, et qui a montré le plus de connaissances dans cette partie de la question. La manière dont il l'a traitée annonce beaucoup de pénétration; et si les résultats auxquels il est parvenu n'offrent pas plus d'intérêt, c'est faute de données suffisantes pour servir de bases à ses calculs.

Le second des mémoires que le comité a jugé dignes d'être cités, contient une nouvelle théorie des effets de la poudre, basée sur la considération de l'inertie. Cette théorie ne parait pas suffisamment bien établie, et quelques-unes des assertions et des opinions de l'auteur sont sujettes à contestation. Mais il présente des observations très-justes et très-intéressantes sur la longueur de l'arme, sur la position du mobile et de la charge, sur celle de la lumière et sur les battemens. Il a bien senti l'importance de l'action dynamique de l'air sur la poudre. Enfin ce mémoire, malgré les inexactitudes qu'il renferme, suppose dans son auteur des connaissances étendues et un esprit d'observation remarquable.

Troisième question. « Indiquer, en se fon-» dant sur les principes connus du calcul des

» probabilités, le meilleur mode à adopter pour
» la recherche des portées moyennes.

» Employer les procès-verbaux d'épreuves
» soigneusement exécutées, soit en France, soit
» à l'étranger, pour en déduire des évaluations
» numériques appropriées aux besoins du ser-
» vice.

» Se bornant pour le moment à l'artillerie de
» campagne, dresser une table de toutes les
» bouches à feu en usage en France, avec les
» distances utiles auxquelles on peut tirer cha-
» cune d'elles; indiquer l'angle de tir ou les
» lignes de hausse correspondantes à ces diverses
» distances et aux divers projectiles en usage.

» L'étendue superficielle de l'objet à frapper,
» et sa position relativement à la batterie étant
» données, assigner pour chacune de ces bouches
» à feu la fraction exprimant le rapport entre
» le nombre total des coups et les coups à effet. »

Le comité ne pense pas qu'aucun des trois mémoires présentés sur cette question en offre une solution assez complète et assez satisfaisante pour mériter un prix. Mais deux de ces mémoires, par l'étendue du travail qu'ils ont exigé, par les connaissances dont leurs auteurs ont fait preuve, lui ont paru dignes d'une mention honorable.

Le premier de ces mémoires porte pour épigraphe : *En vain l'expérience nous instruira-*

t-elle d'un grand nombre de faits; des vérités de cette espèce nous seront presque entièrement inutiles, si nous ne nous appliquons avec soin à en trouver la dépendance mutuelle, à saisir autant que possible le tronc principal qui les unit, à découvrir même par leur moyen d'autres faits plus cachés, et qui semblaient se dérober à nos recherches. (D'Alembert, préface du Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides).

Dans la première partie, l'auteur discute successivement les divers procédés mis en usage par Belidor, Antony, Lombard et Laplace, pour déterminer la moyenne d'un nombre donné d'observations, et il admet, comme ce dernier, que le meilleur mode à adopter dans la recherche des portées moyennes est de prendre la moyenne authentique de toutes les portées, sans en excepter aucune. Il fait remarquer, à ce sujet, que les contradictions qui semblent souvent exister dans les résultats d'expériences faites à diverses époques et dans différens lieux, dépendent bien moins des méthodes différentes qui ont servi à prendre les moyennes, que de ce qu'elles ont été déduites d'un trop petit nombre de coups.

Dans la deuxième partie, il examine la possibilité d'une théorie balistique, et les questions principales dont elle dépend. Dans la solution de plusieurs de ces questions, il émet des opinions qui sont souvent en opposition avec les

principes qui jusqu'à présent ont fait loi dans les ouvrages de balistique. C'est ainsi qu'il admet que le terrain sur lequel une bouche à feu est placée contribue par la réaction du fluide à augmenter l'angle de départ, même sous l'angle de 20°; que la vitesse initiale ne croît pas avec l'angle de tir; que la résistance de l'air est toujours proportionnelle au carré de la vitesse, et qu'elle n'est pas proportionnelle à la surface du projectile. Ces diverses assertions ne semblent pas appuyées sur des faits ou des raisonnemens assez positifs, et cette partie du mémoire pourrait donner lieu à de nombreuses observations.

Dans la troisième partie, l'auteur examine les déviations des projectiles, afin d'en déduire la probabilité du tir. Il a recours, à cet effet, aux résultats des expériences faites en l'an XI avec des canons de 24 et de 6 de différentes longueurs d'âme, tirés de degré en degré, depuis l'angle 0° jusqu'à celui de 10°, et pour rendre comparables les déviations obtenues dans ces expériences, il les ramène par de simples proportions à une même portée et à la même durée d'une seconde. Cette méthode ne paraît pas suffisamment rigoureuse, et les résultats obtenus n'offrent pas le même degré d'exactitude, que s'ils avaient été déduits directement de l'expérience.

Dans la quatrième partie, l'auteur présente pour les bouches à feu de campagne en usage en France, des tables de tir qu'il a obtenues au moyen des théories établies dans les premières parties et qui lui sont particulières. Il s'ensuit que ces tables ne peuvent présenter toute l'utilité dont elles seraient susceptibles, si elles étaient basées sur des données plus certaines. Du reste, les indications qu'elles fournissent y sont présentées d'une manière claire, précise et commode pour l'usage.

Le comité se plaît à reconnaître que ce Mémoire, malgré les observations auxquelles il peut donner lieu, est rédigé avec beaucoup d'ordre, de méthode et de clarté, qu'il a dû exiger des recherches et un travail considérables, et que l'auteur a montré dans plusieurs endroits un très-bon esprit et des connaissances étendues.

Le second Mémoire, relatif à la troisième question, que le comité a jugé digne d'obtenir une mention honorable, a pour devise : *Omnia pondere et mensurâ*. Le premier chapitre de ce Mémoire a pour objet la théorie des probabilités et la discussion du mérite relatif des divers procédés qui ont été mis en usage pour les calculer. Cette partie du travail laisse beaucoup à désirer; les formules qui y sont rapportées ne semblent pas propres à donner une solution exacte des questions qui y sont traitées. Au reste,

l'auteur lui-même, dans une lettre parvenue au comité au moment du jugement du concours, reconnaît que plusieurs inexactitudes se sont glissées dans son travail, et annonce l'intention de le retirer pour le corriger.

Le second chapitre du Mémoire est consacré à la recherche des évaluations numériques demandées par le programme. L'auteur ne s'est pas borné au tir des bouches à feu de campagne, mais il a étendu ses évaluations à celui des canons et des obusiers de siége. Reconnaissant la nécessité de déduire ces évaluations d'un grand nombre de coups, il a rassemblé les résultats du tir exécuté dans les écoles de Metz et de Strasbourg pendant l'espace de six années; mais au lieu de prendre les moyennes de tous les résultats obtenus dans les mêmes circonstances, il n'a admis comme élémens de ses calculs que ceux qui lui ont paru avoir été obtenus avec de bonnes charges et de bonnes hausses, et il leur a appliqué ce principe de Bernouilli sur les probabilités, que, dans un grand nombre d'épreuves, les effets résultant d'une cause naturelle sont ceux qui se reproduisent le plus souvent. Il résulte de là, qu'il n'a fait réellement usage que d'une partie des matériaux qu'il avait à sa disposition; cette manière d'envisager la question prête trop à l'arbitraire. Il est même arrivé que, pour une même portée, l'au-

teur a obtenu plusieurs résultats qui lui ont paru également avantageux, quoique différens, et ces différences l'ont amené à ne pas adopter une moyenne unique, qui serait, dit-il, purement théorique, mais à se renfermer dans des limites qui varient de 2 à 5 lignes de hausse. Il annonce que les hausses qu'il a obtenues, ayant été mises à l'essai au polygone de Strasbourg en 1829, ont produit d'excellens effets, mais qu'il pense que ces résultats pourront s'améliorer d'année en année, en les combinant avec les nouveaux résultats du tir dans les écoles; cette possibilité de les améliorer et de les vérifier annuellement, a été un des principaux motifs qui l'ont porté à faire choix des données déduites du tir ordinaire des écoles, au lieu de chercher à se procurer des résultats obtenus dans des expériences exécutées avec soin.

Le troisième chapitre du Mémoire est relatif à l'examen de la théorie balistique fondée par Lombard, qui est celle que l'auteur a adoptée. Il présente ensuite dans huit tableaux détaillés, pour les diverses espèces de bouches à feu de siége et de campagne : 1°. la relation qui doit exister entre les charges et les portées de la poudre à l'éprouvette; 2°. la probabilité des résultats obtenus, et le rapport entre le nombre total des coups et celui des coups à effet; 3°. la relation qui existe entre les charges de poudre et

les vitesses initiales qu'elles impriment aux projectiles. Il déduit de ces résultats deux autres tableaux, dans lesquels il fait connaître les hausses à employer et la probabilité de toucher à diverses distances. Enfin il tire de l'ensemble de son travail plusieurs conclusions, qui ne paraissent pas toutes également certaines ni également importantes.

La deuxième partie de ce Mémoire offre beaucoup d'intérêt; la manière dont elle est traitée, sans être entièrement complète, est cependant satisfaisante, et fournit des renseignemens utiles. Quoique la méthode adoptée par l'auteur pour déterminer les moyennes ne soit pas rigoureuse, elle est assez approximative pour que les résultats qu'il a obtenus ne diffèrent pas beaucoup de ceux qu'il peut être avantageux d'employer dans la pratique, parce qu'ils ont été déduits directement d'un très-grand nombre de coups, dont la comparaison a dû exiger un travail immense.

L'examen des Mémoires terminé, le président a ouvert les lettres jointes à ceux de ces Mémoires que le comité a jugés dignes d'obtenir un prix ou une mention honorable. Il a été reconnu :

1°. Que l'auteur du Mémoire ayant pour épigraphe : *N'attendez rien du praticien borné et*



dépourvu de principes, etc., était M. Noël, lieutenant au 5e. régiment d'artillerie;

2°. Que l'auteur du Mémoire portant la devise : *Sous un dosage constant et toutes choses égales d'ailleurs, la force absolue d'un poids donné de poudre, etc.*, était M. Saint-Victor, capitaine attaché à la poudrerie du Bouchet;

3°. Que l'auteur du Mémoire ayant pour épigraphe : *Mesurer et peser, voilà les deux grands secrets de la physique et de la chimie*, était M. Colson, chef d'escadron, inspecteur de la raffinerie de Paris;

4°. Que l'auteur du Mémoire portant la devise : *Si parva licet componere magnis*, était M. Thiry, capitaine, inspecteur de la raffinerie de Nancy;

5°. Que les auteurs des Mémoires : *Tentanda via est*, et *Dans ces globes d'airain le salpêtre enflammé, etc.*, étaient MM. Petit et Bach, lieutenans au 6e. régiment d'artillerie ;

6°. Que l'auteur du Mémoire ayant pour épigraphe : *En vain l'expérience nous instruira-t-elle d'un grand nombre de faits, etc.*, était M. Coste, capitaine attaché à la direction de Metz;

7°. Que l'auteur du Mémoire portant pour devise: *Omnia pondere et mensurâ*, était M. Tortel, chef d'escadron au 2e. régiment d'artillerie.

Le comité a en conséquence l'honneur de prier S. Exc. le ministre de la guerre :

1°. De vouloir bien approuver qu'une médaille d'or, de la valeur de 1000 fr., soit remise à M. le chef d'escadron Colson, dont le Mémoire a été jugé digne d'obtenir un prix ;

2°. De vouloir bien accorder une gratification, à titre d'encouragement et comme témoignage de satisfaction, à MM. Noël, Saint-Victor, Thiry, Coste et Tortel, dont les Mémoires ont été jugés dignes d'obtenir une mention honorable ;

3°. De vouloir bien témoigner à MM. Petit et Bach sa satisfaction, pour le zèle et l'instruction dont ils ont fait preuve.

Le premier inspecteur général de l'artillerie, Président,

Signé comte Valée.

Le Lieutenant-colonel d'artillerie, Secrétaire,

Signé Bouteiller.

Les propositions contenues dans ce rapport ont été approuvées le 8 juin par S. Exc. le Ministre de la guerre.

Extrait du Registre des Délibérations du Comité de l'Artillerie.

SÉANCE DU 1er. JUIN 1830.

Questions proposées pour le concours de 1832.

PREMIÈRE QUESTION.

« Faire l'historique de l'artillerie considérée » sur les champs de bataille. Rapporter et discuter » les principaux faits de guerre sur lesquels cette » arme a eu une influence décisive, depuis son » introduction dans les armées jusqu'à nos jours.

» Indiquer, comme conséquence de cette dis- » cussion, l'emploi le plus avantageux à faire de » l'artillerie sur les champs de bataille; dévelop- » per les relations tactiques de cette arme avec » celles de l'infanterie et de la cavalerie.

» On devra appuyer les raisonnemens et les » propositions sur des faits authentiques et sur » des résultats non contestés. »

Dans toutes les circonstances de la guerre, chaque arme, considérée soit isolément, soit en relation avec d'autres armes, adopte nécessaire-

ment une formation particulière, une manière propre de combattre, qui dépendent et dérivent de la constitution spéciale de l'arme et de la nature des moyens matériels qui sont habituellement à sa disposition. Cette dépendance seule, la relation naturelle entre le moyen et l'emploi, pourrait conduire à établir des propositions, à énoncer des préceptes généraux ; mais dans l'art de la guerre, comme dans tout autre, les règles, pour être certaines, ne doivent être que la simple expression de faits long-temps observés, et ne doivent venir qu'à la suite de ces faits.

C'est ainsi envisagée que l'étude de l'histoire devient pour le militaire une source féconde d'instruction. Dans son point de vue le plus élevé, cette étude peut servir à faire connaître les combinaisons qui doivent présider au mouvement des masses, aux grandes opérations stratégiques; resserrée dans des bornes plus étroites, elle peut encore offrir l'avantage d'améliorer les divers modes d'action des élémens des armées. Alors les faits militaires ne doivent être étudiés que dans l'intérêt spécial de l'arme que l'on considère. Procurer à l'artillerie cette nouvelle branche d'instruction, tel est le but de la question proposée. Pour la traiter, il suffit de compulser les fastes militaires de la France; s'arrêtant aux époques principales, aux actions où l'artillerie a eu une part prépondérante, on trou-

vera de nombreux documens historiques propres à jeter une vive lumière sur la matière, et à établir la théorie sur des bases certaines.

DEUXIÈME QUESTION.

« Faire l'exposé des principaux moyens imaginés jusqu'à ce jour pour appliquer les amorces » en poudre fulminante et le mécanisme à percussion, soit aux armes portatives, soit aux » bouches à feu de l'artillerie. Indiquer les avantages que peut présenter ce mode de mettre le » feu à la charge, et en faire également ressortir » les inconvéniens. Proposer le système qui paraîtra le plus convenable, en ayant égard aux » habitudes du soldat, aux circonstances ordinaires du service, et même aux cas rares qui » peuvent se présenter à la guerre.

» Faire un résumé succinct de ce qui a été » proposé de plus judicieux pour charger le fusil » par le tonnerre. Indiquer les avantages spéciaux » que pourrait offrir ce mode de chargement aux » divers corps, soit de l'infanterie, soit de la » cavalerie, en certaines circonstances de la » guerre. Développer également les inconvéniens » qui peuvent en résulter pour le service de » l'arme. Proposer les expériences que l'on jugera nécessaires pour arriver à une solution de » la question. »

Depuis plusieurs années on a proposé de changer le chargement du fusil, ainsi que le mode en usage pour mettre le feu soit aux armes portatives, soit aux bouches à feu. Ces propositions ont été jugées assez importantes et ont paru appuyées sur des considérations assez plausibles, pour que les principales puissances européennes aient ordonné des épreuves et même essayé des commencemens d'exécution. Nulle part toutefois ces innovations n'ont encore été définitivement introduites. Partout on en a pressenti les avantages et remarqué les inconvéniens. Dans cet état de choses, il est utile de recueillir les opinions diverses, d'élaborer les matériaux préparés par tant de militaires instruits, et d'en tirer des conséquences qui puissent servir à dissiper l'incertitude qui règne encore sur un sujet débattu et non terminé. Les concurrens trouveront dans quelques procès-verbaux d'épreuves, dans les recueils périodiques et dans les ouvrages publiés *ex professo* et existans dans les bibliothéques des écoles, tous les renseignemens nécessaires pour les diriger dans leur travail, et les mettre à même de l'entreprendre avec espoir de succès.

TROISIÈME QUESTION.

« Comparer les divers moyens en usage chez » les différentes nations de l'Europe pour les

» épreuves de réception des bouches à feu. Discuter en particulier le mode suivi en France; rechercher les causes des anomalies que présentent souvent les épreuves et les moyens d'y remédier. Examiner s'il ne conviendrait pas, pour remplacer les épreuves de résistance, de chercher un moyen mécanique, physique ou chimique, qui offrît des garanties certaines de la force de la pièce, sans lui faire éprouver, comme le fait l'épreuve du tir, un commencement de détérioration, capable d'user une partie de la résistance dont elle aurait été susceptible. »

L'opinion des artilleurs n'est pas encore fixée sur la meilleure épreuve de réception à faire subir aux bouches à feu. S'il est évident que, pour être apte au service, une pièce devra subir une action supérieure à celle qu'elle doit habituellement supporter, on ne peut non plus rejeter la possibilité qu'un effort exagéré, quoique momentané, ne puisse affaiblir la contexture intime de la pièce : de là des doutes sur les causes des détériorations. Sont-elles produites par des défauts de fabrication? sont-elles des conséquences du mode d'épreuve? Ces questions, dont quelques auteurs ont donné des solutions en sens divers, fixeront sans doute l'attention des officiers d'artillerie; les connaissances que l'on possède maintenant sur les propriétés physiques des

métaux, sur les actions des agens chimiques, permettent d'espérer que la question proposée pourra être traitée d'une manière satisfaisante.

Les Mémoires adressés pour le concours devront être parvenus au Ministère le 1er. octobre 1832 : ce terme est de rigueur.

Le premier inspecteur général de l'artillerie, Président,

Signé comte VALÉE.

Le Lieutenant-colonel d'artillerie, Secrétaire,

Signé BOUTEILLER.

MÉMOIRE

SUR

LA DEUXIÈME QUESTION

MISE AU CONCOURS

PAR LE COMITÉ D'ARTILLERIE, POUR L'ANNÉE 1829,

PAR M. COLSON,

CHEF D'ESCADRON D'ARTILLERIE.

Mesurer et peser, voilà les deux grands secrets de la physique et de la chimie.

QUESTION PROPOSÉE.

« Définir la force de la poudre.
» Comparer et discuter les moyens actuelle-
» ment en usage pour mesurer cette force, en
» proposer de nouveaux si on le juge utile.
» Examiner s'il ne conviendrait pas d'avoir
» des instrumens de différente espèce, suivant
» les différentes armes. »

PREMIÈRE SECTION.

CONDITIONS GÉNÉRALES.

Exposition des principes.

1. Toute cause qui produit, ou tend à produire le mouvement, se nomme *force*.

Une semblable cause existe dans le débandement subit des gaz et vapeurs qui résultent de l'explosion de la poudre; c'est ce que l'on peut, d'une manière abstraite, appeler sa *force*.

Toute force se mesure par ses effets, soit en faisant équilibre à une pression connue, soit en imprimant une certaine vitesse à une masse donnée.

La force de la poudre est soumise à la même estimation.

Pour avoir la mesure complète d'une force, il faut estimer tout l'effet dont elle est capable.

Les machines n'en emploient utilement qu'une partie, inhérente au moteur qu'on leur applique.

Les bouches à feu sont dans le même cas; elles n'utilisent qu'une portion de la force totale de la poudre; si donc on prend, pour mesure d'une force, l'effet qu'elle produit avec une machine donnée, on prend la partie pour le tout,

on n'apprécie qu'une portion de cette force plus ou moins grande, suivant l'espèce et la perfection de la machine.

2. La poudre a donc une force absolue, indépendante des armes, et une force relative à la manière d'être de ces dernières, variable avec chacune d'elles.

Si la portion utilisée, quoique différente d'une arme à l'autre, était la même dans chacune pour les diverses poudres, qu'elle fût une même partie aliquote de la force absolue, le classement des poudres par numéros de forces serait le même partout, et une éprouvette qui remplirait aussi cette condition les classerait dans un ordre de grandeur dynamique qui conviendrait à toutes les armes. En appelant *forces* les portées de cette éprouvette, les nombres qui les exprimeraient seraient entre eux dans le même rapport que les forces réelles absolues, et pourraient les représenter parfaitement, toutes les fois qu'il ne s'agirait que de comparaisons. Mais les choses ne se passent pas ainsi ; l'ordre de grandeur de force des diverses poudres est différent pour chaque machine dans laquelle on les emploie, et, sous ce point de vue, une *éprouvette générale*, qui rangerait les poudres dans un ordre qui ne serait démenti par aucune bouche à feu, est impossible à réaliser ; bien plus, si cette relation était nécessaire, on ne pourrait pas même avoir une éprouvette

particulière par bouche à feu ; car, pour peu que la différence entre les deux machines fût grande, chacune aurait son classement, et il ne vaudrait pas la peine d'employer une éprouvette qui ne différerait que très-peu de la pièce ; autant vaudrait se servir de cette pièce elle-même.

L'éprouvette de Regnier, qui classe assez bien les poudres dans le même ordre que le fusil, n'est pas sans être souvent en désaccord avec ce dernier, surtout quand il s'agit de poudres très-denses.

3. Heureusement cette similitude n'est pas indispensable, l'épreuve n'ayant pas pour but d'enseigner quelle poudre sera la plus ou la moins forte dans une arme donnée ; c'est une question que chaque bouche à feu seule peut résoudre pour son propre compte.

L'épreuve sert à distinguer les poudres ; peu importe la manière dont l'éprouvette les classe, pourvu qu'elle les différencie ; qu'elle ne fasse pas confondre l'une avec l'autre, en assignant à deux ou à plusieurs le même caractère, lorsqu'elles ont réellement des forces différentes ; qu'elle donne à chacune un numéro de force particulier, qui lui soit constamment et exclusivement affecté.

4. Il est certain qu'une éprouvette, qui utiliserait la même partie aliquote de la force réelle et abso-

lue de chaque poudre, remplirait ce but; telle est donc la propriété qu'il faut donner à ces instrumens; et, si l'on ne peut pas la leur procurer complétement, il faut tâcher d'en approcher le plus possible, en écartant de leur construction toutes les causes qui pourraient empêcher qu'il n'en fût ainsi. C'est pourquoi :

1°. Si l'éprouvette est à âme courte, il faut chercher à lui ôter le défaut de ces sortes d'armes, et à faire ensorte que la poudre la plus lente y développe tous ses gaz avant l'expulsion du projectile, afin que la totalité de la charge agisse utilement sur lui, ce qui ne peut s'obtenir qu'en rendant le mobile très-lourd;

2°. Si la fuite des gaz par le vent et la lumière varie suivant la nature et la vivacité des poudres, il faut s'opposer autant que possible à leur échappement, pour que le projectile reçoive dans tous les cas l'action de la totalité des fluides élastiques; cette précaution est particulièrement nécessaire dans une épreuve en petit, où la perte serait plus sensible par rapport à la petite charge. Il me semble que le raisonnement seul peut faire concevoir qu'il existe en effet une différence dans l'échappement des gaz par le vent et la lumière, suivant que les poudres sont plus ou moins vives.

Dans le mortier éprouvette, passé certain terme de vitesse de combustion, cette circon-

stance est défavorable aux poudres les plus vives, qui font une perte plus grande, surtout quand l'instrument est dégradé, et que les issues se sont augmentées (*Voyez* la note E.).

Outre ces conditions, il faut que l'éprouvette soit comparable, simple, point ou peu susceptible de se dégrader; que toutes celles d'une même espèce donnent toujours à la même poudre une même portée, que par conséquent toutes les causes étrangères d'altération soient écartées; ce sont là ses principales qualités.

4. L'éprouvette qui aurait la propriété que nous venons de dire, de donner constamment à chaque poudre différente une portée distincte et spéciale, serait parfaite; elle servirait seule à reconnaître les poudres. Il n'en existe point qui ait ce mérite, et tous les efforts que l'on ferait pour atteindre cette perfection, seraient infructueux: car, en supposant que l'on parvint à mesurer les forces réelles absolues, ce qui est le cas le plus favorable, deux poudres différentes par leurs caractères physiques, leur dosage et leurs manipulations, donneraient encore quelquefois la même portée d'épreuve, la forme, la grosseur, et la densité des grains pouvant rétablir l'égalité de force absolue, qui aurait été dérangée par la composition et le mode de travail.

Cette confusion n'aurait aucun inconvénient si à des portées égales à l'éprouvette répon-

daient des effets égaux dans les armes; mais ceci n'a lieu que lorsque non-seulement les portées, mais encore toutes les autres qualités des poudres, sont les mêmes.

On ne peut donc pas espérer de trouver une éprouvette qui ne confonde jamais deux ou plusieurs poudres différentes sous une même portée; il faut se borner à faire ensorte qu'elle en confonde ainsi le moins possible, qu'elle soit très-sensible et comparable, et qu'elle reste telle pendant tout le cours de son service.

Aussitôt que plusieurs poudres, de forme et de propriétés physiques différentes, peuvent être confondues dans la même portée à l'éprouvette, cet instrument ne peut plus servir seul à les distinguer: on peut chercher, comme nous venons de le faire, à diminuer le nombre des poudres pour lesquelles cette égalité de portée aura lieu, à rendre l'instrument plus sensible; mais on n'obtiendra jamais, par la seule éprouvette, une distinction complète et satisfaisante, parce qu'il s'établit des compensations, qui font que l'influence d'une propriété physique, qui affaiblirait la force, par exemple, est contrebalancée et détruite par l'influence contraire d'une autre propriété.

5. De ce que deux poudres, ayant des propriétés physiques différentes, auront la même portée à l'éprouvette, on n'en pourra pas con-

4.

clure qu'elles auraient aussi la même force dans les armes, parce que l'influence des propriétés physiques n'y restera plus la même, et que leurs effets, qui se contrebalançaient en petite masse dans l'éprouvette, ne le feront peut-être plus en masse considérabe dans les pièces. Pour savoir de ces deux poudres quelle sera la plus forte dans une arme donnée, c'est celle-ci qu'il faudra consulter; et comme l'éprouvette ne les distingue pas suffisamment, on ne pourra désigner chacune d'elles qu'en joignant à l'indication de la portée d'épreuve commune, les caractères physiques qui lui sont propres, grosseur, forme, poli, densité, dureté des grains.

Ce moyen de signalement des poudres par leurs propriétés physiques, concurremment avec les portées à l'éprouvette, a été jusqu'à présent trop négligé, parce qu'on ne se faisait pas une idée exacte de l'objet de l'épreuve, et qu'on regardait l'éprouvette comme devant enseigner par ses portées tout ce qu'il fallait savoir.

L'épreuve n'est autre chose que le signalement d'une poudre, dont l'éprouvette fournit un des caractères principaux; c'est là tout le service qu'elle peut rendre. Si ce caractère ne suffit pas seul pour la reconnaître et la distinguer de toute autre, il faut y joindre la description physique.

6. La poudre étant ainsi caractérisée et dé-

crite, chaque arme devra faire ensuite connaître celle qui lui convient, qui la ménage suffisamment sans y produire de trop faibles effets. Ce sera une expérience à faire une fois pour toutes, parce que la poudre qui aura été déclarée préférable, se reconnaîtra plus tard à son signalement par l'éprouvette, sans qu'il soit nécessaire de recourir de nouveau à la bouche à feu ; la fonction de l'éprouvette sera d'y retrouver le même caractère qu'elle avait découvert d'abord.

7. La connaissance du plus grand effet de la poudre, de sa *force absolue*, serait d'une utilité pratique pour son emploi dans les projectiles creux, les mines, les globes de compression, les pétards, les exploitations de carrière, etc. C'est de plus une donnée intéressante comme objet de théorie et qui se rattache à la question présente.

Il existe une grande analogie entre l'action de la vapeur et celle des gaz qui résultent de l'explosion de la poudre. On détermine les poids auxquels la vapeur d'eau peut faire équilibre aux différentes températures; on exprime ces poids en nombre d'athmosphères; il était naturel de chercher à peser de la même manière la tension, ou la force expansive des gaz de la poudre, au moment de l'explosion.

8. Rumford a fait à ce sujet une série de grandes

et belles expériences; leurs résultats pouvant éclairer la question que je traite en ce moment, je crois très-à-propos d'en relater ici les plus importans, ainsi que les conséquences qui en découlent.

Il s'agissait de déterminer la force de la poudre par le poids nécessaire pour faire équilibre au débandement des fluides élastiques.

Sur une fondation en maçonnerie, profonde de six pieds, reposait un bloc de pierre dure; sur ce bloc était placé verticalement un petit canon court en fer forgé, porté par un support de fonte.

L'orifice du canon était fermé très-exactement par la surface plane d'un hémisphère solide en acier trempé, dont la convexité était en dessus, et sur lequel reposaient les différens poids; on y plaça, pour les fortes pressions, une pièce de 24, maintenue verticalement dans une cage en charpente, qui lui laissait la liberté de faire un petit mouvement de bas en haut; pour faire varier le poids de la pièce on la remplissait plus ou moins de boulets.

Le petit canon avait extérieurement environ 3 pouces anglais de long et 3 pouces de diamètre; son âme était un cylindre de $\frac{1}{4}$ de pouce, ($=0^{m},00635$) de diamètre, long de 2 pouces ($=0^{m},051$), terminé par une chambre conique qui formait en dehors une espèce de queue,

destinée à entrer dans un orifice de mêmes dimensions pratiqué dans un boulet. On faisait rougir ce boulet et on le mettait en place pour allumer la poudre à l'intérieur, par l'effet de la chaleur transmise. On employa de la poudre de chasse de la meilleure qualité; le vide intérieur du canon en contenait 24 grains $\frac{1}{4}$ de troy, (= 157 centigrammes), non compris l'espace occupé par une rondelle de cuir, qui servait à fermer la bouche hermétiquement. Ces rondelles étaient découpées à l'emporte-pièce dans du cuir fortement battu; elles étaient imprégnées de suif, et chassées de force; une seule de ces rondelles fermait si bien l'orifice, que, lorsqu'elle n'était pas expulsée entièrement par l'explosion, aucune portion du fluide ne se faisait jour. On mesura la force expansive, par le poids du corps solide qui reposait sur l'éprouvette et que le fluide pouvait un peu soulever, sans néanmoins chasser entièrement la rondelle de cuir. Pour chaque charge de poudre, on augmentait graduellement le poids comprimant, jusqu'à ce qu'on atteignît ce résultat.

On exprima ces poids en pressions atmosphériques, en les divisant par la valeur de la pression que peut exercer une atmosphère sur une surface égale à la bouche du petit canon. Cette pression est de 0,7363 livres *avoir du poids* = 333 grammes 77. On varia la charge

de poudre, de grain en grain depuis 1 jusqu'à 18; avec cette dernière, et à la quatre-vingt-cinquième expérience, la queue de l'éprouvette creva.

Le vide intérieur du canon, sous la rondelle de cuir, contenant 24,5 grains de poudre, si l'on représente par 10,000 cette capacité, un grain en occupait 408, deux grains 816, etc.; ainsi, le vide au-dessus de la charge allait en diminuant à mesure que cette dernière augmentait; à la charge de 24 ½ grains, ce vide eût été nul; il est fâcheux que la rupture de l'éprouvette ait empêché de pousser l'expérience jusque-là, et de mesurer la tension des gaz de la poudre faisant explosion dans l'espace même qu'elle occupe.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus:

1	2	3	4	5
Charge de poudre en grains, dont 1 égale 6,4 centigram.	Forces ou pressions exprimées en athmosphères.	Forces pour 1 grain, id.	Espaces dans lesquels sont contenus les gaz d'un gr. de poudre à chaque épreuve.	Tension des gaz, calculée d'après la loi de Mariotte, en prenant pour point de départ la 1re expérience qui correspond à 1 gr. de poudre.
1	78	78	10,000	78
2	182	91	5,000	156
3	288	96	3,333	234
4	382	95,5	2,500	312
5	561	112,2	2,000	390
6	»	»	1,666	468
7	812	116	1,428	546
9	1551	173,3	1,111	702
10	1884	188,4	1,000	780
11	2219	201,7	909	858
12	2574	214,5	833	936
13	3288	253	769	1014
14	4008	286,3	714	1092
15	4722	315	666	1170
16	7090	443	625	1248
18	10977	609,5	555	1404

Les calculs de l'auteur l'ont amené à conclure qu'à la charge de 24 grains, l'éprouvette étant remplie, la force serait de 39346 atmosphères; telle est, selon lui, la force de la poudre, ou la pression qu'elle exerce contre les parois de la cavité qui la contient, lorsque les gaz sont retenus dans l'espace même qu'elle occupait. Il est à regretter que cette valeur n'ait pu être déterminée par l'expérience; elle est déduite de

la loi qu'établissent les résultats des épreuves précédentes.

La cinquième colonne, comparée à la deuxième, fait voir que la force des gaz de la poudre, à mesure qu'ils sont resserrés dans un plus petit espace, s'accroît dans une proportion beaucoup plus grande que celle qui résulterait de la loi de Mariotte; ce qui ne prouve pas qu'ils n'obéissent point à cette loi; car il serait possible que les différences observées fussent dues au calorique soustrait par le canon et la rondelle de cuir, principalement dans la première expérience.

9. L'augmentation de force, à mesure que la poudre approche davantage de brûler dans l'espace même qu'elle occupe, explique la rupture des pièces par une poudre dont la vitesse de combustion serait très-grande. En effet, supposons-la instantanée; toute la charge sera convertie en gaz avant que le projectile se soit mis en mouvement; ces gaz sont, dans ce premier instant, contenus dans l'espace même qu'occupait la poudre, circonstance d'où résulte leur plus forte action, une force énorme.

Au contraire, si l'inflammation de la poudre est successive et d'une lenteur convenable, le mobile commence à se mouvoir après la com-

bustion des premières parties; l'espace s'agrandit derrière le boulet; l'explosion des dernières portions de la charge, se faisant dans un espace de plus en plus grand, l'action sur les parois est considérablement diminuée.

Il résulte de là que la poudre la plus forte est celle dont la combustion approche davantage de l'instantanéité, mais aussi que la poudre la plus forte peut bien ne pas convenir à toutes les armes; le manque de résistance des parois de quelques-unes, des canons par exemple, peut en faire proscrire l'emploi et exiger une poudre moins vive.

10. On peut concevoir une poudre d'une combustion tellement rapide, que la diminution des charges ne remédierait à l'inconvénient de rompre les pièces, qu'en ne lançant plus le projectile avec la vitesse voulue.

Supposons que l'on pût rendre instantanée l'inflammation de notre poudre de composition de guerre, qu'une livre de cette poudre produisît un choc capable de rompre les parois d'une pièce de 24; toute autre poudre de même dosage, qui, sans être instantanée, aura une combustion tellement vive, qu'une livre soit réduite en gaz avant que le boulet se déplace, exercera à peu près le même ravage, quel que soit d'ailleurs le poids de cette charge; les gaz de cette première livre brûlée se trouvant

contenus dans l'espace qui produit leur *maximum* d'action, une telle poudre ne pourra être introduite sans danger dans la pièce de 24, qu'à la charge au-dessous d'une livre; or, cette faible charge ne produira pas sur le boulet le même effet que les actions successives de 6 ou 8 livres d'une poudre dont la combustion serait moins prompte.

11. La poudre et la résistance des parois restant les mêmes, si le poids à projeter augmente, si, par exemple, au lieu d'un boulet on en met deux, une plus grande quantité de poudre est brûlée dans un petit espace avant que cette double masse commence à se mouvoir; l'effort contre les parois est donc augmenté, et c'est ainsi qu'on peut expliquer la rupture de la pièce quand on met sur la poudre plus d'un projectile; il faudrait donc encore dans ce cas, pour conserver la pièce, faire usage d'une poudre moins vive.

12. Il ne paraît pas que les poudres de chasse les plus fortes, fabriquées jusqu'à présent, aient un excès d'énergie dangereux pour le fusil; par la même raison, la poudre de guerre à mousquet peut être rendue aussi forte que possible sans inconvénient; je ne crois pas que l'on ait à redouter le manque de résistance dans les mortiers. Mais les canons détériorés à Vincennes, avec une poudre fabriquée par les nou-

veaux procédés, portent à croire que la poudre à canon peut acquérir une force trop grande.

13. Puisque l'on est arrivé à produire une pareille poudre et que le même résultat peut s'obtenir encore, il importe d'avoir une éprouvette qui la caractérise parfaitement, qui la fasse reconnaître par la grandeur de ses effets; il faut enfin que l'éprouvette soit propre à montrer, non-seulement le défaut, mais aussi l'excès, et tous les degrés possibles de force, ce que l'on n'obtient pas du mortier éprouvette actuel.

Si je suis bien informé, cet instrument n'aurait pas donné aux poudres qui ont fortement dégradé les pièces de Vincennes des portées supérieures à celles de la poudre ordinaire. C'est moins une grande force, qu'une force égale, régulière et constante, qu'il faut tâcher de procurer à la poudre à canon; cet avantage ne peut être reconnu qu'à l'aide d'un instrument qui fasse apprécier toutes les variations de force qui résulteront des diverses manipulations. On est donc amené, par toutes ces considérations, à reconnaître la nécessité d'une éprouvette *sensible*, et la question, posée par le comité d'artillerie, que j'entreprends de résoudre, est des plus opportunes. (*Voyez* la note B.)

14. J'ai dit que la force de la poudre se mesure, comme toute autre force, par ses effets dynamiques.

Il existe pour cela deux moyens, dont chacun peut être considéré comme le principe d'une des éprouvettes actuellement en usage, ainsi que je le ferai voir dans la deuxième section.

Premier moyen. Estimer la force par l'action de la totalité de la charge *prise au poids*. Tel est le but du mortier éprouvette, du pendule balistique, et du pendule de Darcy tirant à balle.

Il faut alors, pour que l'éprouvette soit bonne, 1°. que le poids ou mobile destiné à recevoir l'impulsion des gaz la reçoive tout entière, et n'échappe point à leur action avant la combustion totale de la charge, ce qui exige un poids très-lourd, ou une arme longue; 2°. qu'aucune portion de ces gaz ne fuie par quelque ouverture sans agir sur le projectile, surtout dans une épreuve en petit; la perte de gaz par une même issue étant inégale suivant les poudres, altérerait les rapports que doivent exprimer les portées; le vent et la lumière doivent donc être supprimés.

Deuxième moyen. Estimer la force par l'action d'une portion seulement de la charge,

qui soit dépendante de la vitesse de combustion de la poudre. La charge peut alors être introduite au volume et sans la peser. Je montrerai, dans la deuxième section, que telle est particulièrement la manière d'agir de l'éprouvette à ressort de Regnier. (*Voyez* la note F).

Pour atteindre ce résultat, l'obturateur, ou poids destiné à recevoir l'impulsion des gaz, doit échapper à leur action avant la combustion totale de la charge, ce qui suppose qu'il est fort léger, et n'est point contenu dans un tube qui prolongerait sur lui cette action; il doit fermer la bouche du petit canon rempli de poudre, par juxta-position des surfaces, en pesant dessus.

Il faut un certain temps pour que l'obturateur échappe à l'action des gaz, et ce temps est d'autant plus long que sa masse est plus grande. Si l'obturateur qui ferme la bouche de l'éprouvette, est d'un poids assez faible pour que toute la charge de la poudre la plus vive n'ait pas le temps de brûler avant qu'il soit hors de son action, il en résulte que le choc qu'il reçoit est proportionnel à la quantité de poudre qui a pu faire explosion pendant que les gaz ont agi sur lui; les portées des deux poudres sont donc alors dans le rapport des quantités consumées *utile-*

ment, pendant l'instant très-court de la transmission du mouvement à l'obturateur, instant que l'on peut bien supposer de même durée pour deux poudres différentes, puisque cette durée dépend de la résistance ou force d'inertie d'une même masse. Ses portées sont par conséquent dans le rapport des vitesses de combustion.

Ce rapport ne sera sans doute pas d'une exactitude rigoureuse, parce que la poudre la plus vive éloignera plus promptement l'obturateur de la sphère d'action des gaz; mais comme il échappe à leur action aussitôt qu'il s'est éloigné de la bouche du canon d'une quantité extrêmement petite, les différences dans la vitesse de son mouvement seront d'une faible influence, et porteront peu de préjudice à la poudre la plus vive; cela n'empêchera pas celle-ci d'avoir toujours la plus forte portée, parce que c'est la poudre la plus vive dont la plus grande partie aura été brûlée, avant que l'obturateur commence à se mouvoir. Si donc les portées ne donnent pas le rapport mathématique des vitesses de combustion de deux poudres, elles font connaître au moins celle qui jouit de cette qualité au plus haut degré, et c'est tout ce qu'il faut.

Par la même raison que dans le cas précédent,

il ne faut pas qu'aucune issue permette l'échappement des gaz avant l'ouverture de la bouche du canon par le soulèvement de l'obturateur. La lumière doit donc être supprimée.

15. Ce que l'on mesure ici n'est point la force d'une quantité donnée de poudre; on ignore quelle est la portion de la charge dont l'explosion produit l'effet utile, et quelle est l'autre portion dont les gaz sont perdus sans effet, après l'ouverture de la bouche du canon. Cette épreuve n'apprend donc pas, rigoureusement parlant, quelle est la force; ce n'est qu'un moyen de comparaison, qui enseigne que de deux poudres, l'une brûle avec une vitesse plus grande que l'autre. Le rapport de ces vitesses de combustion est à peu près exprimé par celui des portées.

Ici les différences d'une poudre à l'autre seront marquées sur une échelle beaucoup plus grande que par le premier procédé : dans un cas, elles proviennent de l'action de deux quantités inégales de poudre; dans l'autre, elles n'expriment que les différences de force de deux poids égaux.

La première éprouvette (chargée au poids) mesure *les forces*; la deuxième (chargée au volume) mesure les *vitesses de combustion*.

Leur emploi simultané sera utile pour acqué-

rir la connaissance parfaite des poudres que l'on compare; les différences que l'une n'indiquerait que faiblement, ou ne rendrait peut-être pas sensibles, apparaîtront sur l'autre avec toute évidence (Note C.).

16. L'instrument que je veux proposer pour remplir ce double objet, sera de même que l'éprouvette à crémaillère, composé d'un tube court, ou petit canon vertical, rempli de poudre jusqu'à la bouche, sur laquelle reposera, en la fermant exactement, l'obturateur, ou poids à projeter.

Pour la première épreuve, cet obturateur sera très-lourd par rapport à la charge, de manière que la totalité de cette dernière ait le temps de se convertir en gaz avant que l'obturateur échappe à son action.

Pour la deuxième épreuve, au contraire, l'obturateur sera très-léger, en sorte que la bouche du canon soit découverte avant la combustion entière de la charge.

La poudre sera introduite au poids dans un cas, et au volume dans l'autre.

Je donnerai le moyen d'empêcher l'échappement des gaz par la lumière, et de mesurer la hauteur verticale à laquelle le mobile se sera élevé, en supprimant, autant que possible, les chocs et les frottemens que l'on reproche à l'éprouvette à crémaillère.

17. Les deux élémens de la force de la poudre sont la vitesse de combustion et la quantité des gaz et des vapeurs développées au moment de l'explosion.

Les variations dans la vitesse de combustion produisent de très-grandes différences dans la force effective ou l'effet dynamique, lorsque le projectile est assez léger, ainsi que cela a lieu dans les armes, pour faire un grand mouvement avant la combustion de toute la charge : plus la combustion est rapide, plus il y a de poudre brûlée et de gaz dégagés dans l'espace du maximum d'effet, avant que le projectile se meuve.

Mais lorsque le poids du mobile est assez considérable pour qu'il ne s'ébranle sensiblement qu'après l'entière combustion de la charge, tous les gaz, ceux des poudres lentes, comme ceux des poudres vives, sont, pendant un instant très-court, resserrés dans un même espace ; les différences d'effet, dépendantes des vitesses de combustion, sont donc fort affaiblies, si elles ne sont pas entièrement détruites.

C'est sans doute pour cela que les poudres de mine n'ont pas besoin d'une combustion très-rapide, les masses à ébranler dans une mine étant assez considérables pour donner le temps à toute la charge d'être brûlée avant leur déplacement.

L'éprouvette chargée d'un obturateur pesant indiquera donc particulièrement les différences de force qui proviendront du volume des gaz, plutôt que des vitesses de combustion.

L'autre, au contraire, indiquera mieux les différences résultantes des vitesses de combustion.

L'emploi simultané des deux éprouvettes donnera sur chaque poudre toutes les indications désirables.

18. On peut demander s'il convient d'éprouver la poudre en petite quantité, et si une pareille épreuve donne une idée suffisante de sa force.

Cette question me paraît résolue par ce qui a été dit précédemment de l'objet de l'épreuve, qui n'est autre que de distinguer et de classer les poudres dans un certain ordre de grandeur de forces, indépendant de l'effet qu'elles produiront dans une arme ou dans une autre, en grande ou en petite masse; en un mot, d'assigner à chacune un numéro qui la ractérise.

Il s'agit de savoir si l'on peut trouver, dans une petite quantité d'une poudre donnée, un caractère suffisant pour la signaler: or je ne vois pas ce qui empêcherait que ce caractère ne se trouvât; les poudres qui diffèrent en grande masse doivent aussi

différer en petite quantité, sinon de la même manière et sur une même échelle, du moins par quelque chose d'appréciable; car une grande masse n'est autre que la somme de plusieurs petites. On pourra trouver sur une ou sur plusieurs de ces dernières, essayées successivement, la différence distinctive des diverses poudres, aussi bien que sur leur somme; cette différence existe même dans chaque grain.

L'essentiel, quand on opère en petit, est que l'éprouvette soit bien conçue, que toute l'action soit recueillie, qu'aucune portion de gaz ne s'échappe sans effet, que toute cause étrangère d'altération des portées soit écartée autant que possible, telles que frottemens, battemens, etc. Il faut encore, en grand comme en petit, que l'instrument soit simple, peu susceptible de se déranger; que ce qu'il indique enfin ne puisse être attribué qu'à la poudre.

Quand on éprouve la poudre destinée aux grandes armes, on veut obtenir, dit-on, le plus de similitude possible avec ce qui se passe dans ces dernières. J'ai déjà fait voir que la similitude dans la manière d'agir d'une arme à l'autre n'existait pas. Croit-on d'ailleurs qu'il s'en trouve beaucoup entre les 3 onces de poudre brûlée dans un petit mortier et les 8 livres (128 onces) de la pièce de 24?

Tout ceci tient toujours à ce que l'on est

préoccupé de l'idée qu'il faut que les éprouvettes disent immédiatement ce qui se passera dans les armes; elles ne peuvent le dire que d'une manière indirecte, en faisant reconnaître la poudre en faveur de laquelle une arme se sera déjà prononcée.

On allègue qu'en ne prenant que de très-petites charges on est exposé à ce qu'elles ne contiennent pas un mélange, en proportion convenable, de toutes les espèces de grains. Qui empêche de bien mêler la poudre avant de l'éprouver, et de ne former ses moyennes que d'un nombre suffisant de coups particuliers?

Je dis plus, il n'y a pas de bonne éprouvette possible si l'on veut y brûler la poudre en masse considérable, parce que la première condition de cet instrument est d'être comparable, au moins avec lui-même, et qu'un petit nombre de coups d'une forte charge change et altère totalement la machine la plus solide. C'est là le défaut principal du mortier éprouvette.

Je sais bien que la poudre agit différemment, en petite ou en grande masse; que dans une petite charge le rétrécissement des interstices entre les grains, dont l'effet est de gêner la circulation de la flamme, ne se fait pas sentir comme dans une grande; que par conséquent les grains

fins ont plus d'effet dans la première que dans la dernière.

Mais je sais aussi que la poudre a une action différente, même en grande masse suivant les armes, et que si l'éprouvette, aussi grande qu'on le voudra, n'est pas l'arme elle-même (ce qui se réduirait à n'avoir pas d'éprouvette), elle ne dira pas ce qui s'y passera avec les poudres soumises à l'épreuve. Certainement le mortier éprouvette, que l'on estime à cause de sa grandeur, n'enseigne pas, *à priori*, ce qui aura lieu dans le canon, ni même dans le mortier, qui lui ressemble davantage; et si l'on ne savait pas d'avance que la poudre qui donne une portée de 225 mètres est bonne pour ces armes, ce n'est pas lui qui l'apprendrait.

Ce n'est donc pas la peine de chercher dans de grandes masses, qui détruisent si promptement les instrumens, ce qu'elles ne peuvent pas plus dire que les petites; les grandes ni les petites éprouvettes n'ont et ne peuvent avoir pour fonctions de prédire ce qui arriverait dans les armes, avec des poudres dont les effets n'y seraient pas expérimentés d'avance.

Au reste, l'épreuve de la poudre en grand serait fort coûteuse et fort embarrassante; on ne conçoit guère que les grandes bouches à feu elles-mêmes qui puissent alors servir d'éprouvettes : or, tirer le canon ou le mortier pour

éprouver la poudre, ce ne serait pas une petite affaire.

Si l'on veut juger par les vitesses initiales, il faudra de grands appareils de pendule ou autres; il faudra faire des calculs longs et compliqués : si l'on veut juger par les portées, leurs variations dépendent de tant de causes d'anomalies, qu'il sera impossible de distinguer les différences qui appartiendront à la poudre.

Je ne pense pas qu'il soit nécessaire de s'étendre davantage pour combattre cette idée; le mortier d'épreuve actuel me paraît déjà lui-même une trop grande machine, exigeant plate-forme solide, champ d'épreuve, etc.

19. Le programme propose d'examiner la question suivante :

« Ne conviendrait-il pas d'avoir des instru-
» mens de différentes espèces pour obtenir des
» résultats comparables aux effets des différentes
» poudres dans des armes différentes ? »

Ces divers instrumens ne pourraient avoir pour but utile que d'assigner à chaque arme la poudre qui y produit le meilleur effet. Or, j'ai déjà dit que, pour savoir quelle espèce de poudre convient le mieux à une arme, il faut la consulter elle-même. C'est une expérience à faire une fois pour toutes sur chacune, en y soumettant, l'une après l'autre, toutes les espèces de poudres que l'on fabrique.

C'est le seul moyen de connaître le *tempérament* de chaque arme, si l'on peut parler ainsi. On pourrait croire qu'un moyen convenable serait d'avoir pour chaque arme une éprouvette qui lui fût, en petit, parfaitement semblable; il y aurait ainsi autant d'éprouvettes que d'armes.

Mais la mesure des effets de la poudre, dans ces petites images des grandes bouches à feu, présenterait des difficultés de même nature que dans les dernières; il faudrait les estimer également par la mesure scientifique des vitesses initiales, ou par les portées affectées, ici comme en grand, des mêmes anomalies.

Obtiendrait-on de tous ces moyens l'avantage, que l'on cherche, de pouvoir conclure du petit au grand? Je ne le crois pas, et en voici les raisons:

Supposons, par exemple, un petit modèle de la pièce et du boulet de 24, à l'échelle d'un dixième.

Les poids des boulets (de même matière) seront comme les cubes des diamètres, : : 1000 : 1, ainsi que les poids des charges; mais les surfaces seront comme les carrés des diamètres, : : 100 : 1, : : 1000 : 10.

L'hémisphère du boulet, qui reçoit l'action de la poudre, sera donc 10 fois plus grand, par rapport à la charge, dans le petit canon que dans

le grand : il en sera de même de la surface annulaire du vent, et de la section de la lumière, ouvertures qui donnent issue aux gaz, et dont l'influence est très-efficace pour faire varier l'effet de la poudre sur le projectile.

» Les circonférences de contact du boulet avec l'âme de la pièce, seront : : 10 : 1 ; les frottemens qui peuvent en résulter seront donc, dans le même rapport, 100 fois plus grands que celui des charges.

Le frottement dans le petit canon sera plus considérable encore, par cette autre raison ; la dimension linéaire du vent n'y sera que le dixième de ce qu'elle est dans la pièce de 24 ; et il n'y a pas à l'augmenter, parce qu'elle est déjà trop considérable relativement à la petite charge.

Il n'y aurait donc pas véritablement de similitude, et, par conséquent, pas de bonnes conclusions à tirer pour remonter des effets en petit aux effets en grand.

Ceci n'infirme point ce que j'ai dit plus haut en faveur de l'épreuve en petit; je ne repousse pas toutes ces petites éprouvettes pour être petites : je dis seulement qu'elles ne rendraient pas le service que semble faire espérer d'elles la question proposée ; que la copie en petit d'une grande bouche à feu ne dispensera pas de recourir à la pièce elle-même pour savoir ce qui

lui convient, pas plus que ne le ferait toute autre éprouvette, grande ou petite.

Du reste, que l'on donne à ces canons ou mortiers en miniature les qualités que je désire dans les éprouvettes, comparabilité, facilité et précision dans la mesure de leurs effets, je les adopterai de préférence à des instrumens plus grands.

DEUXIÈME SECTION.

Examen des éprouvettes actuellement en usage.

20. Les éprouvettes dont on fait actuellement usage pour reconnaître la force de la poudre, peuvent se diviser en deux classes : 1°. Celles où la charge est introduite au poids; 2°. Celles où cette même charge est introduite au volume, remplissant une chambre de grandeur constante. Le mortier éprouvette, le fusil pendule, tirant à balles, et le fusil tirant contre un pendule balistique, sont de la première classe; les éprouvettes de Régnier et à crémaillère, sont de la seconde.

Il est bien évident, d'abord, que ces deux méthodes ne peuvent pas avoir pour but de donner un résultat identique, et que, si elles donnent également une idée convenable de la force de la poudre, c'est chacune à sa manière; les rapports entre deux poudres, indiqués par

une méthode, ne seront pas les mêmes que ceux indiqués par l'autre.

Dans l'épreuve au poids, on compare les effets de deux poudres, à poids égaux; si les deux charges sont brûlées en totalité, si toute l'action est employée utilement, s'il n'y a pas quelque circonstance qui affaiblisse davantage cette action pour une poudre que pour l'autre, si les pertes de gaz par les diverses issues sont les mêmes, ou plutôt si elles sont nulles, si le projectile est le même, il est certain qu'alors les effets représenteront le rapport réel des forces des poudres comparées; mais il faut que toutes ces conditions soient remplies : si l'une manque, elle seule introduit dans les portées des différences qui ne sont plus du fait des poudres.

Nous examinerons tout à l'heure si le mortier éprouvette, instrument légal de réception des poudres de guerre, satisfait à ces conditions.

Dans l'épreuve des poudres chargées à volume égal dans une chambre constante, on ne peut plus avoir le même but; les différences des portées ne peuvent plus exprimer des différences de force de deux quantités égales de poudre, puisque, sous le même volume, les poids des charges ne sont plus les mêmes; ils diffèrent comme les pésanteurs spécifiques.

Cette épreuve a pour résultat d'indiquer une des qualités constitutives de la force de la poudre;

savoir, sa vitesse de combustion : il faut alors que le poids obturateur soit assez léger pour que toute la charge ne soit pas brûlée avant son soulèvement; la quantité qui brûle avant qu'il se meuve et qu'il débouche l'ouverture du canon, est la seule qui agit efficacement sur lui, elle est dépendante de la vitesse de combustion. Les portées comparées expriment conséquemment, sinon les rapports exacts, du moins les différences de ces vitesses; telles sont les indications de l'éprouvette à ressort de Régnier (*V.* note F), indications des plus utiles, puisque nous avons vu, dans la première partie, et que l'expérience paraît avoir démontré, qu'une poudre peut avoir une vitesse de combustion trop grande pour la résistance de certaines armes, défaut que le mortier éprouvette actuel ne fait pas apercévoir.

Du mortier éprouvette.

21. Je trouve au mortier éprouvette actuel les défauts suivans :

Premier défaut. Trop de vent (= 9 points = 1 mil. 69).

Un pareil vent offre une issue trop grande par laquelle les gaz se perdent sans action sur le projectile. Le prompt égrénement de l'arête circulaire vive d'intersection de la chambre avec le fond de l'âme, en augmente bien vite les inconvéniens; aux premiers coups cette arête est ébré-

chée à sa partie supérieure; alors une grande abondance de gaz s'échappe sans effet.

Comme arme courte, le mortier donne généralement la supériorité aux poudres vives; cet effet est d'autant plus évident que les différences de densité sont plus grandes.

Néanmoins, lorsque le vent est considérable, et surtout lorsque les dégradations dont nous venons de parler ont lieu, il y a un terme de vitesse de combustion, passé lequel les poudres vives perdent leur supériorité et même paraissent moins fortes; le mortier devient insensible aux accroissemens de combustibilité et ses jugemens sont défavorables aux poudres les plus instantanées (*voyez* la note E).

Le mortier de l'an VII n'avait qu'un millimètre de vent; celui de l'an X, 1 ^{mil}. 50; enfin on en est revenu à l'ancien vent de 9 points = 1 ^{mil}. 69.

Dans les deux premiers mortiers, la poudre à mousquet, évidemment d'une combustion plus rapide, surtout en petites charges, a toujours eu la supériorité sur la poudre à canon; dans le dernier, elle conserve à peine l'égalité des portées.

Avec beaucoup de vent, le mortier n'est donc plus un instrument sensible pour les vitesses de combustion élevées; il confond les poudres plus ou moins vives, et même il peut tromper en donnant moins de portée aux plus instantanées.

Nous attribuons cet effet à ce que la poudre

vive fait une perte de gaz plus grande par le vent et la lumière (*voyez* les notes D et E).

Pour le concevoir, il suffit de supposer que le mobile n'obéit pas instantanément ; qu'il y a un temps très-court, le même pour les deux poudres, pendant lequel les gaz sont renfermés dans un même espace en arrière du projectile ; la poudre la plus vive remplira cet espace d'une plus grande masse de gaz, lesquels, par conséquent, feront une plus violente irruption par toutes les issues. On peut admettre aussi que la vitesse du mobile ne s'accroît pas comme la rapidité de la combustion ; que dans les premiers instans du mouvement il est un terme où elle est la même pour les deux poudres ; c'est alors que les gaz de la poudre la plus vive s'échapperont avec plus de vitesse, puisqu'ils sont comprimés en plus grande masse derrière le globe.

Quoi qu'il en soit de ces explications, il est de fait qu'au-delà d'un certain degré de vitesse de combustion, le mortier cesse d'être sensible à l'accroissement de cette propriété ; qu'il ne distingue pas les poudres, qui en sont éminemment douées, des bonnes poudres ordinaires ; qu'il peut même leur donner une portée plus faible ; que ce défaut tient à ce qu'il a trop de vent, et à ce que ce vent s'augmente par les dégradations de la chambre et de l'âme ; qu'il faut par conséquent diminuer le vent et empêcher ces dégra-

dations, si on le peut. La perte de gaz des poudres vives peut être telle, qu'elles conservent encore la supériorité de force qu'elle doivent à leur vitesse de combustion, ou qu'il y ait compensation, et que l'action sur le projectile reste la même que celle des poudres moins vives, ou enfin que les effets soient moindres.

Le mortier-éprouvette n'a pas mis en évidence l'excès de vitesse de combustion des poudres à canon à *charbon roux*, que l'on accuse de détruire les pièces. Nous verrons, dans la quatrième Section, que le fusil ne leur accorde pas plus de force qu'aux poudres ordinaires des pilons; il se pourrait même qu'elles ne procurassent pas au boulet des vitesses initiales plus grandes, et cela par le motif de la perte de gaz dont nous venons de parler. Il faut pourtant que l'éprouvette puisse signaler ces poudres par un caractère distinct, et qu'elle ne les confonde pas avec d'autres qui n'auraient pas le même défaut. Je crois que l'on n'obtiendra ce service du mortier éprouvette, qu'en en diminuant le vent et en s'opposant aux dégradations de la chambre et de l'âme.

Que l'on ne vienne pas dire que la perte de gaz qui diminue l'action de la charge de l'éprouvette, ayant lieu également dans les canons et les mortiers, par le vent de ces pièces, l'éprouvette représente ce qui se passe dans les grandes

armés. La perte qui se fait sur la forte charge de ces dernières est peu de chose, en comparaison de celle qu'éprouve la faible charge de l'éprouvette. Pour qu'il y ait similitude, le vent de l'éprouvette ne devrait être que de 5 à 6 centièmes de millimètres. Ainsi, sous ce point de vue même, le vent du mortier éprouvette doit être diminué.

La perte de gaz par la lumière, est également bien plus considérable dans l'éprouvette, par rapport à la faible charge et au poids de son projectile, que dans les bouches à feu.

Quand même cette similitude, que je n'admets pas, existerait, il n'en faudrait pas moins diminuer le vent du mortier, puisqu'il l'empêche de distinguer les poudres qui ont atteint un certain degré de vitesse de combustion, et de faire reconnaître, par exemple, une poudre trop vive pour le canon.

Deuxième défaut. Le mortier étant pointé à 45 degrés, le projectile n'appuie pas suffisamment sur la partie supérieure de l'orifice de la chambre; aussi c'est par là que les gaz s'échappent, égrènent promptement cette partie de l'orifice, et sillonnent par en haut le cylindre de l'âme.

Troisième défaut. Le mortier est un instrument d'un trop grand appareil, trop dispendieux, exigeant trop de bras, une plate-forme

en maçonnerie, un champ d'épreuve préparé exprès et épierré pour ne pas dégrader les globes; il s'use trop promptement, et ses moindres dégradations sont d'une influence trop considérable sur les portées, au point que, dans l'état actuel, c'est à chaque épreuve un instrument nouveau que l'on consulte.

Si l'on tient à conserver le mortier, je voudrais : 1°. Que l'on diminuât le vent et qu'on le réduisît à 1 millimètre, et moins, si cela se peut. Il faudrait alors faire tomber le globe sur un terrain très-doux et parfaitement épierré, car la moindre bosselure l'empêcherait de pouvoir être réintroduit dans le mortier. Il faudrait aussi laver le mortier à chaque coup, ainsi que cela se pratique d'ailleurs dans les poudreries, afin d'éviter les variations d'un coup à l'autre par l'effet de la crasse;

2°. Que l'arête vive d'intersection de la chambre avec le fond de l'âme fût d'un métal non égrenable, d'acier ou de platine, ou mieux encore que l'âme tout entière fût en acier;

3°. Qu'au lieu d'être pointé sous l'angle de 45 degrés, le mortier le fût sous celui de 60 degrés, afin que le globe fermât mieux l'ouverture de la chambre;

4°. Que la lumière, par où s'échappent une partie des gaz, fût réduite au plus petit diamètre possible, à 2 millimètres, par exemple, au lieu

de 4; que l'on trouvât même un moyen de la fermer, aussitôt que le feu serait mis à la charge. On pourrait y adapter celui que je proposerai dans la troisième partie de ce Mémoire;

5°. Qu'au lieu d'y brûler 3 onces (92 grammes) de poudre, on n'y en brûlât que 1 once (30 grammes), en réduisant la chambre à la capacité convenable; et cela dans le but de ménager l'instrument et de le faire durer davantage;

6°. Qu'après avoir versé la poudre, on enfonçât dans le haut de la chambre une rondelle en carton, de 3 à 4 mil. d'épaisseur, la fermant hermétiquement. Il se pourrait que ce simple moyen fût suffisant pour s'opposer à la première irruption des gaz, pour conserver intacte l'arête vive de la chambre, et pour rendre au mortier la sensibilité qui lui manque. Il en coûtera peu d'en faire l'essai.

Des pendules.

22. On fait usage, pour estimer la force de la poudre, du pendule à recul de Darcy, et du pendule balistique.

La première consiste dans un fusil adapté horizontalement à un pendule, portant comme une balance, par des couteaux en acier, sur des coussinets en métal.

On détermine la force de la poudre par le recul qu'elle imprime au système; l'arc décrit est marqué sur un limbe gradué, au moyen d'un index à nonius.

Darcy tirait sans balle; on charge actuellement le fusil ordinairement de 10 grammes de poudre et d'une balle.

Le pendule balistique consiste en une masse suspendue librement par une verge inflexible; l'axe de suspension est formé de deux couteaux en acier, reposant sur des coussinets de même métal; le mobile vient frapper contre cette masse, et la fait dévier de la verticale; on mesure cette déviation par la corde de l'arc décrit, sous un rayon de longueur connue. On introduit cette donnée dans une formule, dont on déduit la vitesse initiale de la balle.

A la direction des poudres, à Paris, on emploie simultanément les deux instrumens, la balle du pendule à recul frappant contre un pendule balistique établi en face.

Si ces deux machines sont également bien construites, celle qui paraît mériter le plus de confiance, est le pendule balistique, qui donne la mesure de l'action de la poudre sur la balle, car c'est là l'effet qu'il s'agit d'obtenir. Pour que le pendule de Darcy puisse le remplacer, il faut que ses reculs soient proportionnels aux vitesses de la balle; cette propriété peut lui être

contestée. J'ai remarqué néanmoins, dans les expériences que j'ai été à même de compulser, qu'à la charge de 10 grammes, les poudres différentes présentaient, sinon le même rapport, du moins le même ordre de forces avec les deux instrumens.

La même poudre, sous de petites charges, annonce moins de force au pendule à recul qu'au pendule balistique.

Pour 15 grammes de poudre de chasse ordinaire, les expressions de force sont entre elles $:: \frac{\text{pendule balistique}}{1{,}000} : \frac{\text{pendule à recul}}{273}$.

Pour 3 grammes, le rapport est $:: \frac{\text{pendule balistique}}{1{,}000} : \frac{\text{pendule à recul}}{211}$.

Ce dernier devrait être le même que le précédent, si les deux instrumens étaient d'accord; il y a une différence de 30 pour 100 au détriment de la petite charge, avec le pendule de Darcy.

Cette différence peut provenir, ou de ce que le recul du pendule de Darcy est proportionnellement moindre avec la charge de 3 grammes qu'avec celle de 15, ou de cé que le pendule balistique recueille mieux et avec moins de perte la quantité de mouvement d'une balle chassée par 3 grammes, que celle d'une balle chassée par 15; cette dernière circonstance peut bien être pour quelque chose dans le résultat, parce que la balle rejaillit en éclats, et fait rejaillir la ma-

tière du massif, lorsqu'elle frappe le pendule; toute la quantité de mouvement qui anime ces éclats n'est pas transmise, et ils sont plus abondans et lancés plus violemment, quand la vitesse du mobile est plus considérable; d'où résulterait que le pendule balistique traite moins favorablement les poudres fortes que les poudres faibles, et qu'il ne donne pas la véritable vitesse initiale du projectile; que pour employer cet instrument à comparer des poudres, avec le moins de chances d'erreurs possible, il faut tirer à petites charges.

Si l'on veut se borner à prendre pour mesure des forces les arcs de recul, soit du pendule balistique, soit du pendule de Darcy, il faut se résoudre à faire usage toujours du même instrument, car il sera difficile, pour ne pas dire impossible, d'en construire un second assez parfaitement identique avec le premier, pour qu'il donne le même recul avec la même poudre; il y a trop de conditions et des conditions trop difficiles à remplir pour cela; il faut les mêmes poids et dimensions à chaque partie de la machine, même position des centres de gravité et d'oscillation, etc.

Mais on peut tirer par le calcul, de pendules différens, des expressions de forces comparables, dégagées des circonstances particulières de la machine; savoir: du pendule balistique, les vitesses initiales de la balle, ou les forces dynamiques qui y correspondent; du pendule de Darcy,

les nombres qui expriment les forces dynamiques correspondantes à chaque recul.

C'est ainsi que l'on a cru trouver dans les pendules, des instrumens, sinon comparables immédiatement, du moins conduisant à des résultats comparables, à l'aide de formules, dont je me garde bien de suspecter l'exactitude, mais dont l'usage, il faut en convenir, n'est ni simple, ni à la portée de tout le monde.

Je proposerai, à la fin de la 4e. section, un moyen qui me paraît exécutable, d'avoir immédiatement la force dynamique de la balle, c'est-à-dire, le poids que la quantité de mouvement dont elle est animée pourrait élever à une hauteur donnée.

De l'éprouvette à ressort de Regnier.

23. Cette éprouvette est trop connue pour qu'il soit nécessaire de la décrire; elle est ingénieuse, simple et commode; quand elle est employée avec l'attention convenable, elle classe les poudres d'une manière assez régulière, dans l'ordre de leurs vitesses de combustion.

Cependant elle se dérange, le ressort s'affaiblit, et deux éprouvettes ne peuvent pas rester long-temps comparables. La même éprouvette peut donner des différences de 4 à 5 degrés d'un coup à l'autre, si on a n'a pas fréquemment l'at-

tention de resserrer l'écrou qui fixe la branche de l'obturateur, de manière à le faire appuyer constamment avec la même force sur la bouche du petit canon. La même poudre a donné, par suite des dérangemens de l'éprouvette, une fois 15 degrés, une autre fois 26 degrés, dans deux coups successifs; on pourrait remédier à ce défaut en maintenant cet écrou bien serré, par une clef qui l'empêcherait de se dévisser. La tranche du canon en cuivre se refoule inégalement par le retour de l'obturateur après chaque coup; les deux surfaces ne sont plus alors parfaitement juxta-posées.

La résistance de l'index, destiné à marquer les degrés, est variable, suivant sa nature et le plus ou moins de temps qu'il sert; il devient trop libre après un certain nombre de coups. Cette résistance, dont les variations paraîtraient devoir être d'une faible importance, peut néanmoins procurer des différences de 2 ou 3 degrés dans les portées, et même davantage.

La perte de gaz par la lumière introduit aussi dans les portées des différences qui ne sont pas du fait des poudres; cette perte doit toujours, autant que possible, être évitée dans les épreuves en petit.

Le mortier éprouvette, tel qu'il est, n'indiquant pas suffisamment les différences entre les grandes vitesses de combustion, je conseillerais

d'employer en même temps l'éprouvette de Regnier, à l'examen des poudres à canon. Les nuances auxquelles le premier instrument est insensible, seraient marquées par le deuxième, et la poudre serait signalée de manière à la reconnaître et à ne pas la confondre avec une autre.

Pour cela, il faudrait se servir d'un canon ou d'une chambre d'un plus grand diamètre, qui contînt deux grammes de poudre au lieu d'un, afin de pouvoir mesurer les degrés sur une plus grande échelle; avec la chambre d'un gramme, la poudre à canon ne donne que 8 à 9 degrés, tandis que la division du limbe est de 30 degrés; il faudrait aussi réduire la lumière au plus petit diamètre possible, et transformer le bassinet en un petit tube qui chassât la flamme à travers cette lumière *quasi capillaire*.

De l'éprouvette à crémaillère.

24. Je vais décrire l'éprouvette à crémaillère que je connais et dont j'ai fait usage; c'est, je crois, l'éprouvette autrichienne. L'explosion d'un petit canon en fer *C*, *Pl.* I. *fig.* 1 (sa plus forte charge est d'environ 1 gramme 50 cent.), soulève le poids *PP*, qui fait système avec la crémaillère *AB* (le tout pèse environ 3 kilogrammes 50 décag.). Cette crémaillère n'est dentée que d'un côté, sur une hauteur de 320 millimètres.

Lorsque le poids, arrivé à son point culminant, veut redescendre, le cliquet *D* engrène une des dents de la crémaillère, et la graduation qui répond à cette dent indique la hauteur à laquelle le poids s'est élevé.

Cette machine a l'avantage d'être extrêmement solide, et pour ainsi dire inaltérable; les deux poids *P* étant bien équilibrés, et les coulisses qui donnent passage aux montans *M*, ainsi que celle dans laquelle joue la crémaillère, étant aisées, il y a aussi peu de frottement que possible; le bout du cliquet *D* ne pose sur les dents que par son poids, il tourne très-librement autour de son point de rotation; le cliquet opposé ne touche pas le montant, et pourrait être supprimé.

Cette éprouvette donne des résultats assez réguliers; elle ne confirme pas les jugemens bizarres du mortier; elle s'accorde assez bien, pour l'ordre de forces à donner aux poudres, avec l'éprouvette de Regnier, en les présentant toutefois avec des différences moins grandes; cependant, comme il y a des frottemens et des chocs du poids et de la crémaillère contre les montans et la traverse, il se rencontre des coups dont les portées diffèrent beaucoup des autres portées de la même poudre.

Cet instrument ne se dérange pas, avantage qu'il a sur l'éprouvette de Regnier; il peut servir

pour toute espèce de poudres, à gros et à fins grains, la capacité de la chambre et le poids obturateur étant suffisans pour donner de bonnes portées aux grosses poudres.

En le chargeant au poids, il donnera une mesure du même genre que celle du mortier éprouvette. Cette machine serait tout-à-fait perfectionnée, si l'on y évitait la perte des gaz par la lumière, les chocs et les frottemens du projectile dans son mouvement d'ascension, ou du moins si l'on pouvait reconnaître quelle ascension il eût obtenue sans ces résistances.

C'est dans le but d'arriver à ce résultat que j'ai imaginé l'éprouvette que je vais décrire dans la 3e. section de ce Mémoire.

TROISIÈME SECTION.

Description de l'éprouvette proposée.

25. Deux montans *M*, en fer, *Pl.* I, *fig.* 2, implantés dans le plateau *N*, supportent par leurs extrémités supérieures une traverse en fer *AB*, qui sert de chappe aux deux poulies concentriques en cuivre *P* et *P'*, *fig.* 2 et 3. Le bord extérieur de la grande poulie *P* est denté, sa circonférence est graduée; sa gorge a un diamètre de 229 mil. 20, afin que chaque degré soit de 2 millimètres; dans cette gorge est fixé le bout

d'un cordon en soie, à l'autre extrémité duquel est attaché le poids O, projectile destiné à être lancé verticalement par l'explosion de la poudre.

Le diamètre de la petite poulie P' est moitié de celui de la grande; elle supporte, au bout d'un fil roulé dans sa gorge, un poids O' plus petit que O, tendant à faire tourner le système des deux poulies de droite à gauche.

Un petit canon C (du même genre que celui de l'éprouvette précédente) est implanté par un appendice vertical dans le plateau N; sur la tranche de ce petit canon repose, par un disque bien dressé, le projectile O. L'axe du canon, celui du projectile et du cordon qui met ce dernier en communication avec la gorge de la grande poulie, doivent être dans une même ligne verticale, ce qui suppose que le plateau N repose sur une plate-forme de niveau.

Le cliquet D empêche la poulie de tourner de gauche à droite, et rien n'arrête son mouvement de rotation de droite à gauche par l'action du poids O'. Le bout du cliquet peut appuyer contre les dents de la poulie par son propre poids, comme dans l'éprouvette précédente, ou y être poussé par un petit ressort.

Voici maintenant le jeu de la machine.

On charge le petit canon C, on pose le projectile O sur sa bouche, le petit poids O' se trouve alors remonté à sa plus grande hauteur; on met

le feu ; le projectile O est lancé verticalement ; le cordon qui le lie à la gorge de la grande poulie se trouve lâche, alors le poids O' agit, fait tourner la poulie de droite à gauche, enroule, dans la gorge de la grande poulie, le cordon du projectile. Quand ce dernier est arrivé au sommet de sa trajectoire verticale, et qu'il veut redescendre, il en est empêché par le cliquet D, et il reste suspendu à son point le plus élevé ; son élévation est mesurée par le nombre de tours et de degrés dont la poulie a tourné de droite à gauche.

Il est évident qu'il n'y a eu ici ni frottement ni chocs (ainsi que cela arrive dans l'éprouvette à crémaillère) qui aient contrarié l'ascension du projectile.

Mais cette ascension a été favorisée par l'action du poids O', et favorisée d'autant plus que les frottemens du tourillon et du cliquet auront été moindres; ainsi l'inconvénient des frottemens, susceptibles de faire varier les portées indépendamment de la force de la poudre, ne serait que déplacé, si nous n'avions pas un moyen de connaître de combien le poids O' a pu faire monter le projectile au delà du point où il se serait arrêté par la seule action de la poudre. Ce moyen, le voici :

Supposons que le projectile se soit arrêté à son point culminant en O'' ; on le soutiendra dans

cette position, en le faisant reposer sur une traverse EF, fixée au montant M; cette traverse ou support tient au montant par une mâchoire serrée par une vis; elle est par conséquent mobile, et peut se placer à la hauteur que l'on veut; elle porte une palette sur laquelle repose le poids. Elle est dessinée en amorce de grandeur, *fig.* 9. On décrochera le cliquet, et, tournant la poulie de gauche à droite, on remontera le poids O' au même point où il était avant le tir, ce qui laissera lâche le cordon qui tient au projectile; on laissera ensuite retomber le poids O', lequel faisant tourner la poulie de droite à gauche, enroulera de nouveau toute la portion flottante de la corde du projectile, après quoi il agira sur ce dernier avec toute la quantité de mouvement acquise pendant sa chute; cette quantité est la même que celle qu'il a ajoutée au mouvement du projectile pendant qu'il s'élevait par l'action de la poudre, puisqu'elle résulte de la même hauteur de chute, contrariée par les mêmes résistances. On examinera donc de combien le projectile s'est élevé de nouveau, on retranchera cette quantité de sa première élévation, et l'on obtiendra la hauteur qu'il eût acquise par l'action seule de la poudre, sans aucun secours étranger et sans aucune résistance autre que celle de l'air.

On mesure donc ainsi la force dynamique. Les

divers instrumens sont toujours comparables, puisque les résultats sont dégagés de toute influence de la machine; les frottemens peuvent différer d'une éprouvette à l'autre, sans que les portées définitives soient affectées de ces différences. On doit convenir que, même sans la rectification que nous venons d'indiquer, l'instrument serait déjà plus parfait que l'éprouvette à crémaillère, puisque les chocs du mobile sont évités et que les frottemens sont diminués.

On peut demander si la descente du poids O' est assez rapide pour que toute la corde, qui doit suspendre le projectile, soit enroulée sur la poulie, avant qu'il arrive au sommet de sa projectoire verticale; si cela n'était point ainsi, il retomberait d'une partie de sa hauteur avant que le cliquet pût l'arrêter.

D'abord quand le poids O' descend d'un millimètre, il remoute de deux la corde du projectile; c'est dans ce but que les rayons des poulies ont été mis dans le rapport de 1 à 2.

Ensuite, si ce poids O' n'éprouvait point de résistance dans sa chute (supposition que nous faisons pour un moment), sa vitesse acquise égalerait déjà celle qui reste au projectile lorsque ce dernier atteindrait le quart de la hauteur à laquelle il peut s'élever. En effet, soit h cette hauteur: la vitesse perdue pendant cette élévation verticale, ou la vitesse initiale est égale à celle que le même

mobile acquerrait par l'action de la pesanteur, en tombant de la même hauteur *hw*; c'est-à-dire égale à $\sqrt{2hg}$.

Soit x la hauteur d'où devra tomber le poids O' pour atteindre le point où sa vitesse acquise soit la même que celle qui reste au projectile; cette vitesse $= \sqrt{2gx}$.

Pendant le même temps, le projectile aura perdu la même vitesse $\sqrt{2gx}$; il ne lui reste donc plus que $\sqrt{2gh} - \sqrt{2gx}$, qui, par supposition, doit être égal à $\sqrt{2gx}$; on a donc l'équation $\sqrt{2gh} - \sqrt{2gx} = \sqrt{2gx}$, d'où l'on tire $x = \frac{1}{4} h$; et comme $\frac{1}{2}$ de vitesse du poids O' procure 1 de vitesse à la circonférence de la grande poulie, quand ce poids sera tombé seulement de $\frac{1}{4} h$, la circonférence de la grande poulie aura la même vitesse que celle qui reste au projectile.

Voilà ce qui arriverait dans la supposition que le poids O' tombât librement, sans être retardé par le frottement, l'inertie de la poulie et le poids de la corde; quelque faible qu'il fût, on serait certain que sa chute devancerait l'ascension du projectile.

Mais, comme il a toutes ces résistances à vaincre, on ne connaîtra que par l'expérience quelle devra être sa masse pour produire l'effet demandé, c'est-à-dire pour que toute la corde libre du projectile soit enroulée, avant que ce dernier atteigne le sommet de sa trajectoire verticale.

On pourra toujours y parvenir, puisqu'il ne s'agira que de régler convenablement la force de ce contre-poids, ainsi que nous allons l'indiquer.

La même machine peut servir, soit à mesurer la force d'un poids donné de poudre, à l'instar du mortier, soit à mesurer la vitesse de combustion, en chargeant au volume, à l'instar de l'éprouvette de Regnier. Il faudra, pour remplir le premier objet, que le poids à soulever soit considérable par rapport à la charge, afin que toute cette dernière soit brûlée avant le déplacement du projectile.

La masse du contre-poids O' ne peut être fixée d'avance, parce qu'on ignore la résistance qu'opposera l'inertie de la poulie; mais on conçoit qu'il peut être toujours rendu tel, que celle-ci soit vaincue, et qu'il descende avec toute la vitesse qui sera nécessaire.

Le poids de l'obturateur ne peut être non plus déterminé, *à priori*, par les deux motifs suivans :

1°. Parce que, dans un cas (celui de la mesure des forces), la pression doit être telle que toute la charge soit brûlée utilement, ce que l'expérience seule peut déterminer; et que dans l'autre cas (celui de la mesure des vitesses), une partie seulement de cette charge doit brûler;

toute pression moindre que la première conviendra pour ce second cas.

2°. Quand même on connaîtrait la première pression, celle qui doit faire brûler utilement toute la charge, le poids à donner à l'obturateur ne serait pas pour cela déterminé, puisque la force qu'il exerce sur la bouche du canon résulte de sa pesanteur, diminuée de celle du contrepoids O', qui n'est pas connu.

On ne pourra donc régler que par des tâtonnemens les deux poids O et O, de manière à ce qu'ils produisent les effets que l'on en attend.

Voici comment on pourra procéder :

On adaptera d'abord à la machine deux poids quelconques, dont l'un O' soit assez fort pour être certain que, dans tous les cas, sa descente soit plus rapide qu'il ne faut; on augmentera graduellement l'autre poids O, jusqu'à ce que ses divers accroissemens n'en produisent plus dans l'effet dynamique : on sera certain alors d'être arrivé à la pression suffisante pour que toute la charge soit brûlée.

Cela fait, pour ramener le poids O' à n'être pas excessif, et à n'avoir que la masse suffisante à l'effet qu'il doit produire, on retranchera graduellement des deux poids O et O' des quantités telles que la pression reste la même; on arrivera par-là au minimum de masse du poids O' et au maximum du poids O.

La machine sera ainsi réglée pour la mesure des forces.

Pour la régler pour la mesure des vitesses de combustion, on choisira, *à priori*, la pression sur la bouche du canon, inférieure à la précédente (la moindre me paraît la meilleure).

On placera deux poids O et O' de manière à ne laisser subsister que la pression convenue; on les augmentera graduellement l'un et l'autre, de sorte que la pression reste toujours la même, jusqu'à ce que l'on soit arrivé à donner au poids O' une masse qui lui fasse remplir l'effet qu'il doit produire en toute sûreté, et pour toute espèce de poudre.

Ainsi, le poids de l'obturateur dépendra de celui qui sera nécessaire au contre-poids O'; il pourra donc bien se faire que ce ne soit pas une éprouvette *à obturateur léger*, comme nous avons dit, mais *à pression légère*.

Je donne à la chambre du petit canon une capacité suffisante pour contenir deux grammes de poudre.

Il importe, dans une épreuve en petit, qu'aucun gaz ne se perde par la lumière, puisque ces pertes, variant avec la nature des poudres suivant une loi que l'on ne connaît pas, détruisent les rapports de leurs forces réelles. Je propose le moyen suivant de fermer la lumière aus-

sitôt que le feu est mis à la charge. On mettra le feu par un bassinet *B*, *fig.* 6, en forme de coin ou de petite trémie, ayant une lumière vis-à-vis de celle du canon, laquelle répond à une petite chambre au fond de l'âme, (*fig.* 5 et 6); le feu se mettra sur le côté par la bouche de la trémie; aussitôt l'explosion de l'amorce, le reçul du bassinet fermera la lumière du canon, qui contient la charge. Le bassinet en forme de coin et la coulisse dans laquelle il joue sont projetés par des lignes ponctuées, *fig.* 4 et 5.

Pour chaque espèce de poudre, on pourra faire usage des deux méthodes : de l'épreuve en chargeant au poids et de l'épreuve en chargeant au volume. La deuxième méthode indiquera mieux les petites différences entre deux poudres; elle pourra faire connaître des différences que ne montrerait pas la première.

26. Aiusi que je l'ai déjà dit dans la première partie, après avoir ainsi classé les poudres par numéros de forces, on ne pourra connaître les numéros qui conviennent le mieux à chaque arme qu'en en faisant l'expérience avec l'arme même; ce sera une chose à faire une fois pour toutes. On saura par là quels sont les numéros qui sont trop faibles pour le canon, par exemple, ceux qui conviennent à cette arme, et ceux

qui appartiennent à des poudres trop fortes.

Il faut donc une éprouvette qui les numérote exactement.

Je répète encore qu'il s'agit bien moins, en fait de poudre de guerre, de fabriquer des poudres très-fortes, que de leur donner une force égale et constante, et de les rendre d'une bonne conservation. Or, on ne peut arriver à constater cette égalité de forces qu'au moyen d'une éprouvette qui mesure exactement toutes les variations; j'ai l'espoir que celle que je propose anra cet avantage.

27. Il me semble que l'on peut employer le même mécanisme, en remplacement du pendule balistique, pour obtenir immédiatement la force dynamique de la balle, c'est-à-dire, le poids que sa quantité de mouvement pourrait élever à une hauteur donnée.

Il suffit pour cela que le fusil soit placé verticalement, que la balle vienne frapper sous un poids suspendu comme notre obturateur, et dans la direction de la verticale qui passerait par son centre de gravité. L'élévation que ce choc lui procurera sera mesurée par le nombre de degrés dont la poulie aura tourné.

On prendra les précautions convenables pour que les éclats de la balle, et ceux qui seront détachés du poids à soulever, ne rejaillissent pas sur la personne qui aurait mis le feu;

on pourrait les contenir dans une caisse en fonte sur laquelle poserait le poids, et qui serait percée, pour le passage de la balle, d'un trou correspondant verticalement à la bouche du fusil.

Je pense que l'on pourrait même éviter toute espèce d'éclats, en tirant à petites charges (quelques grammes seulement), et en garnissant la base du poids de plusieurs disques de carton.

Connaissant la force dynamique de la balle, on en concluerait facilement sa vitesse initiale, si l'on voulait avoir cette donnée.

QUATRIÈME SECTION.

Développemens et éclaircissemens.

28. Je vais rentrer dans la question générale, et ajouter quelques développemens à l'idée fondamentale de ce travail, savoir : que les éprouvettes ne servent qu'à distinguer les poudres, et non à dire d'avance et *à priori* ce qui se passera dans les armes.

Celles-ci doivent être consultées en premier lieu; c'est d'elles seules que l'on peut apprendre quelles sont les poudres qui leur convien-

nent, tant par la force qu'elles exercent sur le projectile que par leur action sur l'âme de la pièce.

Les éprouvettes serviront ensuite à reconnaître ces mêmes poudres parmi celles qui seront présentées, de manière à ne pas être obligé de recourir une seconde fois à l'épreuve déjà faite avec les armes.

Tel est le rôle de ces instrumens : donner un témoignage de l'identité d'une poudre avec une autre déjà connue, ou montrer qu'elle en diffère.

On aura de plus une garantie de l'identité, par celle des dosages, des matières premières, des manipulations ; mais ceci suppose que l'on fabrique soi-même ou que l'on surveille les fabrications.

Les éprouvettes ne donnent que l'un des caractères qui servent à distinguer les poudres : ce caractère résulte de leurs propriétés chimiques, intimes et occultes.

Il faut y joindre le détail de leurs propriétés physiques apparentes et mesurables ; forme et grosseur des grains, densité, dureté, couleur, trace sur le papier, etc.

Le caractère donné par l'éprouvette ne peut pas plus servir seul à la reconnaissance d'une poudre, que ne le feraient ces derniers également consultés seuls ; il ne serait suffisant qu'au-

tant que toutes les propriétés physiques seraient les mêmes pour toutes les poudres, qu'autant qu'elles auraient toutes même dosage, même densité, même dureté, même forme et même grosseur de grain, parce qu'alors ces propriétés influant également sur l'épreuve des différentes poudres; cette influence pourrait être négligée, comme ne contribuant pas aux différences des portées. C'est là, sans doute, la raison qui a fait tenir fort peu de compte jusqu'à présent des propriétés physiques, dans l'épreuve des poudres de guerre.

Ce caractère pourrait encore servir seul, s'il était spécial et distinct pour chaque poudre; si l'éprouvette ne donnait pas le même à deux ou à plusieurs poudres différentes, ainsi que le font les instrumens de cette espèce que nous connaissons jusqu'à présent.

Dans l'origine, le procédé de fabrication étant unique et regardé comme peu susceptible de donner de grandes différences dans les densités, la forme et la grosseur des grains étant prescrites, on a considéré toutes les poudres comme identiques sous ces rapports.

On s'est ainsi accoutumé à ne faire attention qu'aux portées de l'éprouvette, à regarder comme propres aux mêmes effets dans les armes les poudres qui auraient les mêmes portées au mortier d'épreuve, et comme capables d'effets

différens celles qui présenteraient des portées différentes. On en est venu à agir comme si l'on croyait que l'influcnce des propriétés physiques, qui n'était plus prise en considération, serait la même dans l'éprouvette et dans les armes.

Les choses sont cependant bien loin de se passer ainsi : une poudre très-dense, par exemple, peut donner de très-bonnes vitesses initiales au boulet et de très-mauvaises portées au mortier d'épreuve. On se trompera toujours si l'on persiste à conclure de ce qui se passe aux éprouvettes à ce qui se passera dans les armes ; et si l'on ne veut pas prendre ces instrumens pour ce qu'ils sont réellement, *un moyen de signalement d'une poudre donnée et rien de plus*, moyen qui n'est unique que lorsque les autres propriétés sont identiques; car, dans le cas contraire, on ne peut pas plus faire connaître une poudre par le seul caractère que lui donne l'éprouvette, qu'on ne ferait connaître un corps quelconque par un seul de ses attributs.

29. Puisque les éprouvettes n'ont pas pour but de faire connaître immédiatement ce qui se passera dans les armes, qu'elles ne sont qu'un moyen de vérification de poudres déjà connues pour produire de bons effets, il n'est pas nécessaire d'y brûler la poudre en grande masse, dans le but d'obtenir une prétendue similitude,

qui n'est pas l'objet de l'épreuve. L'épreuve n'étant que la reconnaissance d'une poudre, le caractère qui la fera reconnaître peut aussi bien être donné par une petite éprouvette que par une grande.

Je ne repousse pas l'épreuve en grand comme mauvaise en principe, mais comme inutile, coûteuse, difficile, et ne pouvant, à raison de la prompte destruction de l'instrument, donner des résultats comparables. Une grande éprouvette ne pourra jamais être aussi sensible aux variations de qualité de la poudre qu'une petite.

3o. On peut commettre de graves erreurs en faisant exclusivement usage des éprouvettes pour constater les perfectionnemens que l'on veut introduire dans la fabrication de la poudre; elles accuseront bien des changemens, elles signaleront les poudres par un autre chiffre, mais elles n'apprendront pas si ces changemens seront favorables ou nuisibles dans le tir des armes. Leur fonction n'est pas d'indiquer les progrès, mais la constance dans les qualités. Il existe néanmoins une éprouvette, qui mesure particulièrement les progrès d'une des qualités de la poudre, voir, sa vitesse de combustion, puisque ses résultats sont dépendans du plus ou moins de développement de cette propriété; je veux parler de l'éprouvette de Regnier, ou de l'éprouvette à

projection verticale et à obturateur léger, que j'y substitue comme plus comparable, et comme fondée sur le même principe. Mais quoique la vitesse de combustion soit l'élément principal de la force de la poudre, passé certaines limites, son accroissement n'augmente plus dans toutes les armes l'action sur le projectile, à cause de la fuite des gaz, qui devient trop rapide par le vent et par la lumière; il arrive même un terme où cette action est amoindrie, et où la vivacité de la poudre ne se fait plus sentir qu'en détruisant les parois de la pièce. Le projectile ne reçoit plus le même choc, parce que les gaz trop concentrés s'échappent sans agir sur lui; la pièce reçoit un choc plus destructeur, parce qu'il s'opère sur une plus petite étendue de ses parois.

L'éprouvette à vitesse de combustion ne doit donc pas, plus qu'une autre, être consultée seule pour ce genre de perfectionnement; il faut y joindre le tir des armes. Elle peut néanmoins servir à reconnaître les poudres trop vives, *quand les armes auront une fois accusé ce défaut*, et dispenser de l'obligation de consulter ces dernières à chaque fourniture.

L'usage simultané de deux éprouvettes, ou de la même employée de deux manières différentes, comme je l'ai proposé, donnera plus de garantie de l'identité de la poudre que l'on exa-

mine, avec celle que l'on veut reproduire, que ne le ferait l'emploi d'un seul de ces instrumens. S'il existe une différence qui ne soit pas indiquée par l'un, elle le sera par l'autre ; par exemple, le mortier d'épreuve n'a point annoncé de différence sensible entre les poudres nouvelles à charbon roux et les poudres à charbon noir; on a pu croire, en conséquence, qu'elles agiraient identiquement dans les armes, comme elles le faisaient dans le mortier. Si l'on eût éprouvé ces poudres comparativement, avec l'éprouvette de Regnier, la plus grande vitesse de combustion des poudres nouvelles eût été marquée, comme je le montrerai tout à l'heure.

Cela n'eut pas suffi, sans doute, pour en conclure qu'elles détruiraient les pièces, car ces dernières seules pouvaient donner cette certitude; mais c'eût été un avertissement salutaire de ne point compter sur leur identité avec les poudres inoffensives.

L'emploi de l'éprouvette de Regnier peut donc être utile à la reconnaissance des poudres que l'on soupçonnera d'être trop vives; on peut en faire usage pour les poudres à canon, en lui donnant une chambre plus grande (contenant 1 gramme 75 ou 2 grammes); il convient d'en rendre la lumière très-petite, sauf à transformer le bassinet en un petit tube qui chasse la flamme de l'amorce à travers cette lumière, *quasi capil-*

laire. J'ai fait arranger ainsi une éprouvette de Regnier, qui a parfaitement signalé la supériorité de vitesse de combustion des poudres à charbon roux sur celles à charbon noir, à même densité, grosseur et forme de grains, par une différence de 4 degrés sur 20.

Cet instrument n'étant pas comparable, il faut avoir un échantillon de poudre à canon reconnue bonne et d'une vitesse de combustion convenable, dont on tirera quelques coups à chaque épreuve. Les portées de cette poudre *type* serviront de termes de comparaison; on fixera le rapport des degrés de forces qu'il ne sera pas permis de dépasser.

On conçoit qu'avec une éprouvette comparable, donnant toujours une même portée à la même poudre, l'usage de la poudre type serait superflu.

La preuve de la supériorité de vitesse de combustion des poudres nouvelles à charbon roux, sur les poudres anciennes à charbon noir, ne résulte pas seulement des données de l'éprouvette de Regnier, on peut encore la tirer de l'expérience suivante :

En augmentant graduellement la charge d'un fusil de munition de 5 grammes en 5 grammes, et mesurant la vitesse initiale procurée à la balle par chaque charge, on a trouvé que le maximum d'effet répondait aux charges suivantes :

Poudre de Saint-Ponce (pilons et charbon noir), 17 grammes ; vitesse, 583ᵐ.

Poudre d'Esquerdes (nouveaux procédés et charbon roux), 25 grammes ; vitesse, 631ᵐ.

(Tableau n°. 2 des expériences d'Esquerdes.)

Les deux poudres avaient à peu près la même densité ; l'une 816 et l'autre 812. Or, il est évident que c'est la poudre la plus vive qui doit donner le plus tard le maximum d'effet, une plus grande quantité de cette poudre pouvant être brûlée utilement avant la sortie de la balle, puisqu'elle brûle plus vite.

Voilà donc une propriété de ces nouvelles poudres qui n'était point appréciée par le mortier d'épreuve, qui ne le serait peut-être même pas dans le canon par la vitesse du boulet, et qui peut néanmoins être signalée par l'éprouvette de Regnier, ou par celle que je propose, à projection verticale et obturateur léger. L'éprouvette à obturateur pesant n'y serait sans doute pas insensible, puisqu'elle ne donne pas lieu aux pertes de gaz avant leur action sur le projectile, pertes qui sont la cause de l'insensibilité du mortier et des autres armes.

31. On peut maintenant demander si l'on doit attribuer la rupture des pièces par les nouvelles poudres, exclusivement à leur excès de vitesse de combustion ; il est certain que cette seule cause suffit sans le concours d'une autre espèce de

charbon. M. Maguin, commissaire à Esquerdes, a détruit une pièce de 4, avec une poudre à gros grains très-poreux faite avec du charbon noir; il a même rompu des canons de fusil avec cette poudre, sous une charge beaucoup moindre qu'il n'en faudrait des meilleures poudres pour produire le même effet; or, cette poudre à gros grains très poreux, réunissait les deux conditions d'une déflagration instantanée de toute la charge, savoir : grande combustibilité du grain et facile transmission de la flamme.

On peut attribuer l'excès d'énergie des nouvelles poudres sur les parois du canon, soit à une plus prompte combustion qui les rend en quelque sorte *fulminantes*; soit à ce que la nature de leur charbon leur fait produire un plus grand volume de gaz avec une même vitesse d'émission, ce qui reviendrait au même pour la propriété de fulminer, puisque dans le même instant plus de gaz serait comprimé dans le faible espace qui se trouve derrière le boulet avant qu'il se meuve; soit enfin à ces deux causes réunies.

Dans tous les cas, les éprouvettes à vitesse de combustion annonceront cet effet, et le remède se trouvera dans un accroissement de densité, qualité précieuse pour la conservation de la

poudre et qu'on est heureux de pouvoir se procurer, en même temps que l'on laisse à la poudre une force convenable. Il n'y a donc qu'à se féliciter d'être parvenu à produire une poudre trop vive aux densités accoutumées, puisque le remède consiste à lui donner une densité plus grande; qu'on ne pourrait peut-être pas donner aux anciennes poudres sans les trop affaiblir.

32. Je vais répondre à une objection que l'on peut faire, à propos de l'usage que je recommande de l'éprouvette de Regnier pour l'épreuve des poudres à canon, en attendant l'adoption, si on le juge convenable, de celle que j'ai proposée en remplacement.

Nous disons que l'éprouvette de Regnier mesure la vitesse de combustion; nous attribuons la rupture des pièces à l'excès de cette propriété. L'éprouvette de Regnier donne jusqu'à 30 degrés à la poudre superfine, et 8 à 9 seulement à la poudre à canon ordinaire; pas beaucoup plus à la poudre *brisante* à charbon roux. Comment se fait-il donc, si l'éprouvette accuse juste, que les poudres fines ne brisent pas toutes les pièces, que l'on puisse impunément tirer le canon avec la poudre à mousquet, la poudre de chasse ordinaire, et même la poudre superfine? Comment se fait-il que dans les épreuves d'Esquerdes, ce soit la poudre à gros

grains très-poreuse qui ait brisé les pièces, et non pas plutôt la poudre à grains plus fins, également poreuse, puisque cette dernière, en sa qualité de poudre fine, aurait donné des portées plus fortes à l'éprouvette de Regnier?

C'est que cet instrument n'est affecté que par l'une des deux causes qui contribuent à la vitesse de combustion d'une charge. Ces deux causes de la vitesse de combustion sont les suivantes :

1°. La combustibilité propre de chaque grain, sa faculté d'être plus ou moins promptement pénétré jusqu'au centre. Cette faculté dépend du dosage, de la nature des composans, de la grosseur et de la densité des grains, de la perfection du travail.

Des dosages différens, d'autres matières premières, une autre espèce de charbon, d'autres manipulations, produiront une combustibilité du grain différente, quoique sa grosseur et sa densité restent les mêmes.

2°. Le libre passage de la flamme entre les grains, qui permet qu'un grand nombre de points de la charge prennent feu au même instant; cette propriété dépend de la forme et de la grosseur des grains; la poudre à gros grains, ronde, lissée, laisse des interstices plus libres que la poudre fine, anguleuse et non lissée.

La grosse poudre ne jouira de cet avantage au plus haut degré, que lorsque ses grains seront très-poreux, et pourront être instantanément comburés jusqu'au centre; car à mesure qu'ils acquièrent de la densité, la longueur du rayon de leur sphère d'explosion diminue.

Mais cette deuxième cause de la déflagration subite de toute une charge ne peut avoir d'effet sensible que lorsque le volume est un peu considérable; quand la charge est petite, renfermée dans un petit espace, comme dans l'éprouvette de Regnier, le feu de la lumière en allume au même instant tous les grains; l'influence des interstices doit être nulle ou presque nulle (1).

Ainsi donc, l'éprouvette de Regnier n'est sensible qu'à la première des deux causes qui produisent la vitesse de combustion de toute une charge, savoir, la combustibilité propre de chaque grain; c'est pourquoi elle donne une supériorité si prononcée au grain fin sur le gros; mais dans une grande charge, ce que la poudre

(1) Cette propriété du grain fin de diminuer la vitesse de transmission de la flamme, se fait déjà sentir dans la charge ordinaire du fusil (10 grammes); son influence n'est jamais suffisante néanmoins pour contrebalancer l'avantage de la finesse du grain, puisque les poudres à grains fins y ont constamment la supériorité à toutes les densités.

fine gagne par la petitesse du grain, elle le perd en partie par le rétrécissement des passages à la circulation de la flamme.

Ce que je dis de l'éprouvette de Regnier s'appliquerait à celle que je veux y substituer.

33. De ce que l'éprouvette de Regnier n'apprécie que les effets de la première des deux causes qui font varier la vitesse de combustion d'une charge, il s'ensuit qu'elle ne peut servir qu'à comparer les poudres sous une même grosseur et une même forme de grains; mais alors elle donne bien, quoique par une mesure en petit, la différence réelle qui existe dans la vitesse de combustion de deux grandes charges égales; car les causes qui gênent ou facilitent la transmission de la flamme, sont les mêmes de part et d'autre, quand les deux poudres que l'on compare sont parfaitement égalisées et de même forme.

Si l'on fait usage de poudres types, il en faudra donc d'autant d'espèces différentes qu'il y aura de poudres auxquelles elles devront servir de modèle.

Le type de la poudre à canon devra être du grain de canon, etc.

On conçoit maintenant que l'innocuité des poudres à grains fins sur les parois du canon n'infirme pas l'explication de la rupture des pièces par la vitesse de combustion de la charge,

8.

ni notre manière d'expliquer les résultats énoncés par l'éprouvette de Regnier. Cette dernière accorde aux grains fins une très-grande vitesse de combustion, mais elle n'apprécie que la combustibilité du grain, en quelque sorte isolé, elle n'est pas sensible aux obstacles que la flamme éprouve pour pénétrer dans tous les points d'une grande charge, obstacles qui naissent en partie de la petitesse même des grains.

On conçoit encore pourquoi, dans les expériences d'Esquerdes, ce sont les gros grains très-poreux qui ont détruit la pièce; ils réunissaient toutes les conditions de la combustion la plus instantanée de la charge.

C'est par la même raison qu'à densités égales les poudres à grains ronds sont plus destructives que les poudres anguleuses.

Mais, comme je l'ai déjà dit, lorsque des poudres présenteront cet inconvénient, le remède se trouvera dans l'accroissement de densité.

34. L'emploi de l'éprouvette étant ramené au seul objet qu'il doit et qu'il peut remplir, savoir, la reconnaissance et la vérification des poudres, on ne saurait conclure de ses données que la poudre qu'elle signale sera bonne au canon, au mortier et au fusil, qu'autant que l'on saura d'avance qu'une autre poudre, signalée de la même manière par le même instrument,

et ayant d'ailleurs tous les autres caractères physiques semblables, a produit de bons effets dans ces armes. L'épreuve préalable avec ces dernières est toujours présupposée ; aucune éprouvette ne dispensera de cette première expérience; la seule chose dont elle dispense est d'y recourir une seconde fois lorsque l'on continue à fabriquer les poudres au même dosage, avec la même pureté et la même nature de composans, par les mêmes procédés et sous les mêmes propriétés physiques.

Aussitôt que l'on introduira quelques changemens essentiels, ce ne sera plus l'éprouvette qu'il faudra consulter exclusivement; elle n'apprendrait plus ce que les poudres nouvelles produiront dans les armes; elle ne ferait que leur assigner un caractère particulier, sans rapport connu avec leur effet dans le tir du canon, du mortier ou du fusil; ce rapport ne peut s'établir que par une nouvelle épreuve avec les armes elles-mêmes.

Lorsque l'on a fixé une portée moyenne de 225 mètres pour les poudres de guerre, cette fixation était relative aux poudres à grains de canon, fabriquées par les mortiers à pilons. On avait reconnu, sinon par des épreuves directes, du moins par une longue pratique, que ces poudres produisaient au canon tout l'effet désirable

lorsqu'elles avaient présenté au mortier-éprouvette la portée requise.

Mais en s'imposant ainsi une portée d'ordonnance, on se mettait dans l'obligation de ne rien changer aux propriétés physiques de la poudre, ou de n'y faire que des changemens peu considérables, quelque avantageux qu'ils eussent pu paraître d'ailleurs, car ces changemens en eussent amenés nécessairement dans la portée à l'éprouvette; ainsi, on ne pouvait pas accroître la densité ni changer beaucoup la forme et la grosseur des grains.

35. Les expériences d'Esquerdes avec la pièce de 4 viennent d'apprendre qu'on peut fabriquer des poudres très-denses (provenant de galettes amenées par la pression à la densité de 1700 à 1800, l'eau étant 1000), lesquelles ne donnent plus au mortier-éprouvette la portée d'ordonnance, en même temps qu'elles impriment au boulet une vitesse initiale presque aussi considérable que d'autres poudres plus légères.

On fait un reproche au mortier de signaler aussi mal de très-bonnes poudres. Le mortier ne dit sur ces poudres que ce que sa nature lui permet de dire; il ne les signale pas moins bien qu'il ne fait les autres, seulement par un chiffre différent; qu'importe que ce chiffre soit moindre, si avec les autres caractères on peut les reconnaître et dire : voilà des poudres au dosage de guerre, qui, avec telle densité,

telle grosseur et telle forme de grains, provenant de telles manipulations, donnant telle portée au mortier, sont bonnes pour le canon, puisque des poudres entièrement semblables y ont produit de bons effets. Il ne s'agit que de changer le chiffre de la portée d'ordonnance.

L'erreur vient toujours de ce que l'on veut juger une poudre par le seul caractère que donne l'éprouvette, sans y associer tous les autres.

Il ne serait pas moins abusif, après avoir établi une nouvelle portée d'ordonnance convenable aux nouvelles poudres, de prescrire la même portée, et non pas une supérieure, pour les poudres moins denses des pilons; si le mortier est défectueux, ce n'est pas pour assigner un caractère différent à des poudres différentes, c'est pour n'avoir aucune uniformité dans les portées qu'il donne à la même poudre.

Toutes les fois que l'on voudra faire des poudres nouvelles, il faudra donc consulter les armes avant les éprouvettes, et ne juger par les indications de ces dernières, qu'après avoir reconnu l'accord qui existe entre ces indications et les bons effets dans les armes. Tout est à refaire alors, et les épreuves avec les armes, et celles avec les éprouvettes. Cette circonstance est favorable pour renoncer à une ancienne éprouvette reconnue défectueuse, et en adopter une

plus parfaite, puisque les antécédens de la première n'ont plus aucune valeur.

L'inconvénient de fabriquer des poudres de guerre en même temps par deux procédés susceptibles de leur donner des propriétés physiques très-différentes, est celui-ci : c'est que la règle pour la réception ne pourra plus être unique ; il faudra assigner une portée d'ordonnance particulière pour chaque espèce de fabrication.

Si, par exemple, on conserve en même temps et les pilons et les nouvelles méthodes, et que par ces dernières on veuille donner aux poudres de très-fortes densités, ce qui est désirable pour leur conservation, et paraît sans inconvénient pour leur force, du moins quant à leur emploi dans le canon ; si en même temps on garde le mortier-éprouvette pour instrument légal de réception, il ne faudra plus exiger 225 mètres des poudres très-denses ; on devra fixer la portée moyenne qui correspond au bon effet de ces poudres dans le canon.

36. Je pense que l'on doit accroître la densité de la poudre, dite à canon, autant qu'on le pourra ; mais comme la même poudre doit servir en même temps aux armes longues et aux armes courtes, au canon et au mortier, le canon seul ne doit pas être consulté. Il faut se tenir dans une limite de densité et de grosseur de grain telle que la même poudre puisse être employée aux deux

usages. Les expériences seules avec les armes pourront apprendre quelle est cette limite. Les éprouvettes viendront ensuite jouer leur rôle de reconnaissance et de signalement.

37. Puisque l'on a trouvé, dans l'emploi du charbon distillé roux et dans les nouveaux procédés de fabrication des poudres de chasse appliqués aux poudres de guerre, un moyen de produire une poudre à canon, qui, aux densités ordinaires, aurait une vitesse de combustion excessive pour la résistance du bronze, il me semble que l'on peut profiter de cette circonstance pour chercher à donner d'autant plus d'accroissement à la densité, en employant ces mêmes charbons et ces mêmes procédés.

38. Les avantages des nouveaux procédés sont déjà constatés par des épreuves, pour ce qui regarde les poudres destinées aux armes de main; voici le résumé de toutes les moyennes que j'ai pu recueillir des épreuves faites avec le pendule à recul, à la direction des poudres, depuis le 30 avril 1826, avec une charge de 10 grammes et une balle de 19 à la livre :

Relation entre les forces des différentes poudres, au fusil pendule (en exprimant par 1000 la force de la poudre superfine nouvelle).

Poudre superfine.		Poudre de chasse ordinaire.		Poudre de guerre à mousquet.			Poudre de guerre à canon.		
Nouveaux procédés.	Pilons.	Nouveaux procédés.	Pilons.	Nouveaux procédés.		Pilons anguleuse.	Nouveaux procédés.		Pilons anguleuse.
				Ronde.	Anguleuse.		Ronde.	Anguleuse.	
1000	956	955	941	894	947	914	863	890	908

Ici c'est le fusil lui-même qui est juge des poudres qui lui conviennent; nous saurons donc que, *dans cette arme* :

1°. La force des poudres va en augmentant à mesure que le grain diminue de grosseur.

2°. Les poudres anguleuses des nouveaux procédés, sous le grain de mousquet et au-dessous, ont plus de force que les mêmes poudres des pilons.

Sous le grain de canon, les nouvelles poudres, soit rondes, soit anguleuses, sont plus faibles que les anciennes. Cette circonstance est remarquable, et s'accorde mal avec leur effet destructeur des pièces; par conséquent le fusil, pris pour éprouvette des poudres à canon, ne pouvait

pas plus annoncer ce fâcheux résultat, que ne l'a fait le mortier d'épreuve.

3°. Les poudres rondes nouvelles, à mousquet et à canon, sont les plus faibles de toutes. Ce sont cependant les poudres rondes nouvelles, à grains de canon, qui ont le plus maltraité les pièces de Vincennes ; le fusil pris pour éprouvette pouvait donc encore moins annoncer leurs mauvais effets.

L'infériorité, dans le fusil, des nouvelles poudres sous le grain de canon, résulte, non-seulement du tableau général qui précède, mais aussi de l'examen particulier des poudres de guerre renvoyées de Vincennes comme *brisantes*, comparées aux poudres inoffensives de Saint-Chamas et de Marommes.

		Poudre de guerre à canon.				
		Nouveaux procédés.			Anciens procédés.	
		1re. ronde du Bouchet.	2e. ronde du Bouchet.	Anguleuse du Bouchet.	Anguleuse de St.-Chamas.	Anguleuse de Marommes.
Reculs du pendule de Darcy.	1re. épreuve.	68[illegible]	»	736	770	»
	2e. épreuve.	735	774	709	»	780
Cordes des reculs du pendule balistique.	1re. épreuve.	247	»	264	280	»
	2e. épreuve.	251	270	247	»	290

Telles sont les indications données par le fusil; on voit que l'on se tromperait beaucoup si on les prenait pour règle de la convenance d'une poudre pour le canon, avant d'avoir consulté celui-ci. On voit aussi qu'il a le même défaut, comme éprouvette, que le mortier, et que certaines poudres, plus vives que d'autres, au point de détruire les pièces quand les autres sont inoffensives, n'en sont pas distinguées par de plus fortes portées.

Se peut-il qu'une poudre, qui a une énergie telle qu'elle détruit promptement la pièce, ait une force intrinsèque moindre qu'une autre qui la laisse intacte, lorsque toutes deux ont le même dosage, les mêmes élémens, à cela près du degré de carbonisation du charbon; lorsque le mélange et la trituration sont plus parfaits dans la première, enfin lorsque toutes les conditions de celle-ci sont de nature à la rendre plus forte?

La poudre nouvelle anguleuse, plus faible sous le grain de canon que la poudre des pilons, est constamment la plus forte sous les autres grains; pourquoi perdrait-elle cette supériorité sous le grain de canon seulement? Elle la manifeste d'ailleurs par son action sur la pièce, et ne la perd que sur le projectile.

La poudre ronde nouvelle est de même dosage, de même nature de composans, que la poudre anguleuse nouvelle; elle détruit les pièces plus que cette dernière, cependant elle présente moins

de force sur le projectile; est-il possible qu'elle soit réellement moins forte? Sa composition doit lui faire produire les mêmes fluides élastiques, et en même quantité, la différence ne peut donc exister que dans la vitesse de combustion: or, celle-ci n'est pas moindre, car alors on ne concevrait pas que cette poudre détruisît davantage les pièces; d'un autre côté, on conçoit aussi peu que la même quantité de gaz, se développant plus instantanément et dans un plus petit espace, ait moins de force; il faut donc qu'alors une partie des fluides élastiques se perde sans effet utile sur le mobile; cette perte doit résulter, comme nous l'avons dit, de l'échappement qui a lieu par le vent et la lumière.

Si donc on veut que ces poudres soient signalées par leur portée à une éprouvette, il faut que cet instrument ne donne pas lieu à une pareille perte, et qu'il soit sensible aux moindres différences dans les vitesses de combustion.

39. Nous connaissons maintenant quelles sont les poudres qui conviennent le mieux au fusil. Il est à regretter que de pareils renseignemens n'existent pas pour chaque bouche à feu, avec l'autorité d'expériences positives.

Je ne connais, à ce sujet, que les épreuves d'Esquerdes, avec le canon de 4, tiré contre un pendule balistique; elles prouvent :

1°. Que si les galettes dont on forme le grain ont une très-faible densité (1300 à 1400, l'eau étant 1000), et un grain supérieur au grain de mine qui donne la plus grande vitesse initiale, cette poudre attaque les parois de la pièce, sans exercer néanmoins plus d'action sur le projectile, que ne le ferait une poudre plus dense; d'où résulte la nécessité de proscrire ces poudres légères, à combustion trop rapide, de même qu'il faut proscrire les poudres à charbon roux, par le même motif d'un excès de vivacité, jusqu'à ce qu'il soit prouvé qu'on peut les rendre inoffensives, en leur donnant une grande densité.

2°. Qu'aux densités de 1500 à 1600, les poudres n'ont plus la même action pernicieuse sur les parois. C'est alors le grain de mine qui donne la plus grande vitesse initiale, supérieure au maximum des poudres précédentes.

3°. Qu'aux densités de 1700 à 1800, les plus grandes vitesses initiales appartiennent au grain de mousqueterie; que ces vitesses sont à peu près les mêmes (un peu plus faibles) que celles dues aux grains de mine des densités de 1500 à 1600.

Les épreuves des mêmes poudres, au fusil et au mortier éprouvette, ont confirmé ce que nous avons dit dans tout le cours de ce mémoire, que chaque arme avait sa manière de classer les différentes poudres, et que de l'ordre de gran-

deur de force dont elles jouissent dans une arme, on ne pouvait pas conclure celui dont elles jouiraient dans une autre.

Le fusil a toujours donné la supériorité aux poudres les plus fines sous toutes les densités.

Le mortier d'épreuve a donné les plus fortes portées au grain de canon sous les densités de 1300, 1400 et 1500; au grain de mousqueterie sous les densités plus élevées.

Les grains supérieurs au grain de mousqueterie n'ont plus donné les portées d'ordonnance, lorsqu'ils provenaient de galettes pressées à 1700 et 1800, quoique ces mêmes grains aient imprimé au boulet de très-bonnes vitesses initiales.

NOTES.

Note A.

La poudre produisant le plus grand effet possible, quand ses gaz sont contenus dans l'espace même qu'elle occupait avant sa combustion, tout moyen de réduire cet espace, qui ne nuira pas essentiellement à la vitesse de combustion, devra augmenter sa force; c'est ainsi qu'elle s'accroît :

1°. Par le tassement :

En tassant, même jusqu'au refus, jusqu'à ce que les grains se soient rapprochés et arrangés de manière à ne plus permettre de diminution de volume, les interstices sont encore suffisans pour le passage de la flamme; ceci se vérifie au moins dans les petites charges; il se pourrait que dans les grandes il n'en fût pas de même.

2°. Par le lissage à sec ou avec très-peu d'humidité dans le grain.

La destruction des aspérités permet que les grains se rapprochent et occupent moins de volume; malgré ce rapprochement, le jeu de la flamme est rendu plus facile entre ces grains à surface unie; et quoique la densité acquise par chaque grain soit défavorable à la vitesse de combustion, la diminution de l'espace qu'ils occupent accroît la force d'une manière sensible. Tout moyen d'accroître la densité et de diminuer le volume occupé par la poudre, n'est pourtant pas favorable à la force; le

lissage de grains peu essorés (contenant au delà de 1 ½ à 2 p. 100 d'eau), la granulation d'une matière trop humide, la diminuent.

Le lissage est donc tout à la fois un moyen d'accroître ou de diminuer la force de la poudre ; de l'accroître en la lissant sèche ; de la diminuer en la lissant humide (4 et 5 p. 100 d'eau).

Note B.

L'objet constant de toutes les tentatives des poudriers a été jusqu'à présent d'accroître la force de la poudre.

Il ne paraît pas qu'il y ait sous ce rapport beaucoup à gagner à sortir des dosages actuels ; cependant le dosage de guerre contient peut être un peu trop de soufre ; il donne une poudre un peu moins forte et crassant davantage que celle obtenue du dosage en poudre de chasse. C'est ce dernier qu'il faudrait adopter, si l'on se décidait à n'avoir qu'un même dosage pour les poudres de guerre et les poudres de chasse, simplification qu'il serait utile d'admettre. Les recherches sur les dosages n'offrant plus de chances d'améliorations marquées, le salpêtre et le soufre étant obtenus au dernier degré de pureté, par les procédés actuels de raffinage, on a cherché et trouvé les perfectionnemens, dans la préparation du charbon et son degré de carbonisation, dans la trituration et le mélange parfait des matières, dans les moyens de faire prendre corps à ces matières pulvérisées pour pouvoir les réduire en grains, dans le moindre emploi possible d'eau pour cet objet, dans la diminution de grosseur des grains pour les petites armes, toujours accompagnée d'une augmentation de force, et l'un des moyens les plus efficaces d'atteindre ce but ; (dans les grandes armes, il y a, sous une densité donnée, une grosseur de grain

convenable à chacune qui est encore à déterminer); dans le lissage de ces grains après les avoir fortement essorés et presque entièrement séchés. Moins la pâte ou galette que l'on réduit en grains contient d'eau, plus la poudre qui en résulte est forte; une pâte très-humide donnera toujours une poudre sans vivacité; l'humidité du grain, en s'évaporant, amène à sa surface une croûte de salpêtre, croûte qui pourrait être telle, à la rigueur, qu'elle rendît le grain entièrement incombustible.

Ces considérations m'avaient inspiré le désir de trouver un moyen de former, sans eau, avec les poussiers des trois composans, triturés et mélangés à sec, des galettes assez consistantes pour se convertir en grains; j'ai trouvé ce moyen dans l'emploi de la chaleur et de la compression. Des poussiers secs comprimés à la température de 50 à 60 degrés Réaumur, produisent une masse compacte d'une densité, d'une consistance et d'une dureté considérables, en quelque sorte arbitraires, et pouvant atteindre la dureté de la pierre. On a reproché à la poudre provenant de ce procédé d'être trop peu poreuse et trop dense; mais on peut faire varier la densité en variant la pression et la température; on peut aussi remédier à l'excès de densité en diminuant la grosseur des grains.

La densité de la poudre est une qualité des plus désirables pour qu'elle se conserve en grains dans les transports, qu'elle absorbe moins d'humidité, et qu'elle occupe moins de place dans la pièce.

Note C.

La vitesse de combustion accompagne toujours la force de la poudre; que cette dernière soit acquise par

le dosage, par la qualité des matières premières, par les manipulations, par la forme et la grosseur du grain, toujours un accroissement de force se manifeste par un accroissement de vitesse de combustion. Le lissage même, quand il n'altère pas la surface du grain, quand il s'opère sur une poudre sèche ou presque sèche, peut augmenter la vitesse de combustion de la charge, en facilitant le passage de la flamme entre les grains, quoiqu'il diminue la combustibilité propre de chaque grain, par la densité plus grande qu'il lui procure.

J'ai voulu mesurer directement la vitesse de combustion de la poudre, au moyen de l'instrument dont le croquis est *pl. I, fig.* 10, dont voici le principe:

Faire commencer un mouvement de rotation produit par l'action de la pesanteur, en même temps que s'allume l'extrémité d'une traînée de poudre, et le faire cesser à l'instant même où la flamme arrive à l'autre extrémité.

La poudre est contenue dans un auget demi-cylindrique *AB*, long de $0^m,50$, aux extrémités duquel sont les petits canons verticaux *C* et *D*; la bouche de chacun de ces canons, inclinée vers l'auget, est recouverte d'une plaque *E* et *F*. Cette plaque fait système avec les leviers *EIG* et *FKH*, lesquels, pour embrasser l'auget, sont à deux branches réunies aux points de rotation *I* et *K*. Sous le milieu de l'auget est suspendue, par une chappe, une roue dentée graduée *L* : concentriquement à cette roue, et faisant système avec elle, est une poulie *M*, dans la gorge de laquelle s'enroule un fil de soie portant à son extrémité le poids *P*; lorsque la plaque *E* repose sur la bouche du canon *C*, le petit crochet *G* engrène avec la roue dentée, et l'empêche de tourner en obéissant à l'action du poids *P*.

Quand la plaque F repose sur la bouche du canon D, le petit crochet H retient le cliquet O pressé par un ressort, et l'empêche d'engrener avec la roue dentée. Cela posé, l'auget et les petits canons étant chargés, les crochets des leviers étant en place, l'un pour retenir la roue dentée, l'autre le cliquet; que l'on mette le feu au canon C par la lumière Y, au moyen d'une étoupille; il se communique à l'auget par la lumière Y', et au même instant la plaque E étant soulevée, la roue dentée reste libre et tourne, jusqu'à ce que la combustion, parvenue à l'autre extrémité de l'auget, mette le feu par la lumière Z au petit canon D, soulève sa plaque et laisse engrener le cliquet.

Le petit style Q, qui répondait avant le mouvement à zéro, marque, par le numéro sur lequel il s'arrête, le nombre de degrés dont la roue a tourné.

Les leviers doivent être équilibrés autour de leur point de rotation, de manière à n'exiger que le plus faible effort pour se mouvoir.

On peut reprocher à cet instrument d'être délicat, d'exiger une exécution soignée, de faire connaître ce qui arrive dans une traînée à découvert, et non ce qui se passe dans un tube.

Il est néanmoins probable que la même loi aurait lieu dans la traînée et dans le tube; seulement, dans ce dernier, la vitesse de transmission de la flamme serait plus grande; il serait d'ailleurs facile de remplacer l'auget par un tube ouvert par le bout seul où l'inflammation commence. Voici le principal défaut que je trouve à cette machine : elle ne mesure pas complétement la vitesse de combustion, mais seulement la vitesse avec laquelle la flamme se transmet d'un bout à l'autre de l'auget, ce qui n'est pas la même chose; ce n'est qu'un des élémens de la vitesse de combustion, dans lequel

n'entre pas le temps nécessaire à la combustion propre de chaque grain. En effet, si les grains de poudre sont très-gros et très-denses, l'inflammation des surfaces se communique avant la destruction totale du grain, et les choses pourraient être telles, que la flamme arrivât à l'extrémité de la traînée, avant que les premiers grains fussent consumés jusqu'au centre.

Cet instrument fait néanmoins apprécier une qualité essentielle de la poudre, savoir, la vitesse de transmission de la flamme, et l'inflammabilité des surfaces des grains; il peut servir à étudier les poudres sous ce rapport.

J'en ai particulièrement fait usage pour reconnaître les mauvais effets du lissage humide; voici entre autres, quelques-unes de ses indications sur cet objet.

Des poudres à grains de mousquet et de canon, lissées essorées, d'autres lissées vertes, parvenues à une même densité par cette opération, ont donné les résultats suivans :

Poudre à grain de mousquet.

Lissée essorée. . . 165 degrés.
Lissée verte. . . . 2,000 *id.* (5 tours, plus 200 degr.)

Poudre à grain de canon.

Lissée essorée. . . . 241 degrés.
Lissée verte. . . . 977 *id.* (2 tours, plus 257 degr.)

Note D.

Dans des expériences faites à Paris en 1822, à la direction des poudres, on a trouvé ce qui suit : (*au fusil pendule.*)

La poudre de guerre à grains fins, à la charge de 5 grammes, et lançant une balle de 25 grammes, est plus forte que la même poudre à gros grains; les forces,

mesurées par les reculs, sont entre elles dans le rapport de 454 : 403 = 1000 : 727.

A la charge de 1 gramme, et avec un projectile cylindrique de 325 grammes, la poudre fine est devenue plus faible que la grosse; le rapport des forces est :: 472 : 535 = 1000 : 1134.

Comment expliquer cette infériorité autrement que par un excès de perte de gaz dans la poudre fine, dont la combustion est plus rapide, perte très-sensible sur la faible charge de 1 gramme. On concevrait bien que sous un poids considérable, l'égalité pût s'établir entre deux poudres qui ne diffèrent que par leurs vitesses de combustion, parce que la grandeur du poids tend à resserrer l'explosion totale de l'une et de l'autre dans le même petit espace occupé par la charge; mais la supériorité de la poudre la plus lente sur la plus vive ne peut exister que parce que la dernière n'emploie pas utilement toute sa force, et qu'elle fait une perte de gaz qui n'est point aussi considérable dans la poudre à gros grains.

Dans ces mêmes expériences, avec le projectile de 325 grammes, la poudre de guerre grosse s'est montrée supérieure à la superfine anglaise, et la poudre de mine s'est élevée presque au niveau de cette dernière.

	Superf. anglaise.	De guerre à canon.
Dans le tir ordinaire à une seule balle, les forces sont . . ::	1000 :	800
Avec le projectile cylindrique de 325 gr., le rapport devient. ::	1000 :	1163.

Avec une charge de 5 grammes, si l'on augmente graduellement le poids à projeter, depuis une balle jusqu'à 6, toutes les poudres se rapprochent de l'égalité de forces; la force augmente avec les poids, mais beaucoup plus

rapidement pour les poudres lentes que pour les poudres vives; cependant ces dernières conservent encore une supériorité marquée avec 6 balles. Si l'on eût continué l'expérience, on serait arrivé à l'égalité, et enfin au renversement de l'ordre des forces, renversement qui ne peut s'expliquer que comme nous le faisons, par un excès de perte de gaz dans les poudres vives, et qui n'aurait pas lieu si aucune issue n'était offerte à leur échappement.

Ce qui se passe ici dans le fusil, avec un projectile de 325 grammes et une charge de 1 gramme, se retrouvera dans le mortier d'épreuve, où le poids du globe est dans le même rapport avec la charge.

Note F.

Dans des épreuves comparatives que nous avons faites, M. Pélissier et moi, des mêmes poudres à canon et à mousquet, tirées à deux mortiers différens, sortis tous deux de l'atelier de précision, mais dont l'un était neuf et l'autre dégradé, soit par l'agrandissement du vent, soit par la corrodation de la partie supérieure de l'arête de la chambre, circonstances qui l'une et l'autre favorisent l'échappement des gaz :

La poudre à canon a perdu au mortier dégradé 5 pour 100 environ de la force qu'elle présentait au mortier neuf, et la poudre à mousquet, dont la combustion est plus rapide, 9 pour 100.

Ces chiffres présentent les résultats moyens d'un grand nombre de coups, et confirment ce que nous avançons, que les poudres vives perdent davantage par l'agrandissement des issues qui sont offertes aux gaz, que ne le font les poudres lentes.

Ceci n'est point particulier aux poudres à canon et à mousquet comparées entre elles; des poudres d'une même

espèce, d'une même granulation, quelle que soit la grosseur du grain, si elles ont une vitesse de combustion différente, donneront lieu à la même remarque; la poudre la plus vive sera celle qui perdra davantage par le vent du mortier.

Voici les moyennes des résultats obtenus dans des expériences ayant pour objet de constater la vérité de ces observations.

Nous avions un mortier dégradé par la corrodation de l'arête supérieure de la chambre; le globe n'en fermait plus exactement l'ouverture; pour opposer un obstacle à l'échappement du gaz, j'ai fait faire des anneaux en bois, d'une ligne de hauteur et d'épaisseur, et d'un diamètre extérieur égal au diamètre de la chambre. Ils étaient introduits dans le haut de la chambre, et enfoncés de manière que leur surface extérieure se raccordât avec la surface hémisphérique du fond de l'âme; le globe posait par conséquent sur ces anneaux, et ils remplaçaient, pour empêcher l'échappement du gaz, l'anneau métallique enlevé par la corrodation.

La portée de la poudre à mousquet s'est augmentée, par l'emploi de ces anneaux, de. . . . . . 3.70 p^r. 100.
Celle de la poudre à canon, de. . . . . 2.24 *id.*
Celle de la poudre superfine, de. . . . 3.98 *id.*

L'exemple qui suit indique d'une manière plus frappante encore l'influence du vent, pour faire baisser davantage les portées des bonnes poudres que celles des mauvaises; une poudre, dosage de guerre, grenée en mine, a été comparée à une poudre de mine ordinaire; en tirant l'une et l'autre avec et sans anneaux, on a eu les moyennes suivantes :

	SANS ANNEAUX.		AVEC ANNEAUX.	
	Dosage de guerre.	Dosage de mine.	Dosage de guerre.	Dosage de mine.
Portées moyennes.	199m.17	205m.87	230m.40	216m.80

Ainsi, quand le mortier a beaucoup de vent, le dosage de guerre donne une portée plus faible que le dosage de mine, sous la même granulation. (La supériorité du premier dosage sur le deuxième n'est pourtant pas contestée. Mais aussi, quand on s'oppose à la fuite du gaz par le moyen de l'anneau obturateur, le dosage de guerre reprend toute sa prééminence sur le dosage de mine.

Les portées du premier augmentent de 15.68 p^r. 100.
Celles du deuxième seulement, de. . . 5.36 *id.*

S'il est vrai que les poudres vives perdent davantage de leur portée que ne le font les poudres lentes, par l'agrandissement du vent, il doit arriver, dans certains cas, qu'avec un mortier dégradé des poudres, contenant un peu d'humidité, paraîtront égales et même plus fortes que ces mêmes poudres complétement sèches; ce fait s'est effectivement présenté plusieurs fois.

Une poudre à canon déposée dans un magasin de Strasbourg depuis un an, tirée au sortir du magasin, a donné la moyenne de. . . . . 215m.00.
La même poudre resséchée et tirée en même temps a donné. . . . . 212 60.

Autre exemple.

Poudre à mousquet bien sèche. . . . . . . 223^{m} 00.
La même contenant depuis zéro jusqu'à un pour cent d'eau. . . . . 224 00.

L'éprouvette de Regnier indique cependant une plus grande vitesse de combustion dans la poudre bien sèche, car elle donne à cette dernière. . . . . . . 12^{d}, 13.

Et la poudre un peu humide. . . . . . . 11 00.

Il résulte clairement des expériences dont je viens de rapporter les résultats généraux, que la perte de gaz qui se fait par le vent est variable suivant l'espèce de poudre; que cette perte varie avec la granulation, le dosage, la densité, enfin avec toutes les circonstances qui font varier la vitesse de combustion; il paraît démontré que les poudres dont la combustion est rapide sont celles dont la portée est la plus diminuée. Si ce dernier fait ne se présente pas toujours sans quelques anomalies, il est au moins bien certain que deux poudres différentes n'éprouvent par le vent, ni la même perte, ni une perte proportionnée à leurs forces; que cette influence sera d'autant plus grande, par rapport à la charge, que cette dernière sera plus petite; que si par conséquent avec le mortier, où l'on n'emploie que de petites charges, on veut estimer les forces relatives par les portées, il faut que ce mortier ait le moins de vent possible; autrement, dans certaines limites, les poudres lentes et les poudres vives auront la même portée; et l'on ne pourra pas les distinguer.

Note F.

Les portées très-supérieures que l'éprouvette de Regnier donne aux poudres fines sur les poudres à gros grains, indiquent bien qu'il n'y a pas, de part et d'autre,

la même portion de la charge brûlée utilement. Cette éprouvette donne aux poudres superfines jusqu'à 30°, aux poudres à mousquet de 12 à 15°, et aux poudres à canon seulement, de 8 à 9°; il n'est pas possible qu'il existe une pareille différence de force entre ces poudres, si la même quantité de la charge était brûlée à l'effet. Aucune arme et aucune éprouvette avec un projectile pesant, n'indiquent une telle disproportion; cela ne peut donc provenir que de ce qu'il y a des quantités inégales de la charge des différentes poudres dont l'explosion agit sur l'obturateur.

Aussitôt que ce dernier est soulevé, tout se perd par le vent; une poudre qui donnait 18° avec l'obturateur appliqué sur la bouche du canon, n'en a plus donné que 4, en le tenant séparé seulement de 1 millimètre.

Toute la poudre qui brûle après le soulèvement de l'obturateur brûle donc en pure perte, et s'il est assez léger pour être soulevé avant que toute la poudre soit réduite en gaz, les portées dépendront uniquement de la quantité gazéifiée avant son ébranlement, ou de la vitesse de combustion.

Tel est le cas de l'éprouvette de Regnier; cette éprouvette n'indique donc pas l'effet de la totalité de la charge qu'elle reçoit, mais de la partie seulement qui brûle avant que l'obturateur se meuve, partie d'autant plus considérable que la poudre s'enflamme plus vivement et se consume plus vite jusqu'au centre du grain.

D'ailleurs une partie de la charge, différente suivant l'espèce de poudre, peut être supprimée, en remplissant le vide supérieur par une graine incombustible, sans que pour cela les portées soient diminuées; preuve certaine que la totalité de la charge n'est pas utile à l'effet.

FORMULES

DE PROBABILITÉS,

RELATIVES

AU RÉSULTAT MOYEN DES OBSERVATIONS,

QUI PEUVENT ÊTRE UTILES DANS L'ARTILLERIE.

(Article communiqué par M. Poisson, membre de l'Institut, examinateur de l'Artillerie.) (1)

Lorsqu'en mesurant plusieurs fois une chose quelconque que nous appellerons A, on en a obtenu des valeurs égales ou inégales, et qu'on n'a aucune raison de préférer l'une à l'autre, il est évident qu'on doit prendre la *moyenne* de

(1) M. Poisson ayant remarqué, par l'examen des mémoires envoyés au concours, que l'usage des formules relatives au calcul des probabilités n'était pas très-familier aux officiers d'artillerie, a cru faire une chose utile en écrivant cette note, dans laquelle il s'est attaché à présenter ces formules avec autant de concision que possible, à en indiquer comme exemple quelques applications à l'artillerie, et surtout à fixer le sens précis qu'on doit y attacher.

toutes ces valeurs, ou leur somme divisée par le nombre des mesures, pour la valeur de A qui résulte de ces observations. On est naturellement porté à penser que cette valeur moyenne approchera de plus en plus de la vraie valeur de A, à mesure que l'on augmentera le nombre des observations; mais le calcul des probabilités peut seul fournir le moyen d'évaluer avec précision l'erreur que l'on aura à craindre, en nous faisant connaître les limites de cette erreur, et leur degré de probabilité. Lagrange est le premier qui ait soumis au calcul cette importante question, et qui ait posé les principes dont elle dépend; mais la solution qu'il en a donnée ne saurait être utile dans la pratique, parce qu'elle suppose connue la loi de probabilité des erreurs de l'expérience, et que cette loi est, au contraire, tout-à-fait inconnue; sa représentation par une fonction de la grandeur variable des erreurs n'étant, à proprement parler, qu'une sorte de fiction nécessaire pour donner prise et servir de base à l'analyse mathématique. C'est à Laplace que les sciences d'observation sont redevables d'une règle indépendante de toute loi de probabilité des écarts de l'expérience, applicable à tous les cas où le nombre des observations est considérable, et dans laquelle on ne fait usage que des valeurs observées de l'inconnue. Voici en quoi consiste cette règle, dont l'auteur a fait de nombreuses

applications dans sa *Théorie analytique des probabilités*.

Soit n le nombre des mesures qu'on a faites. Désignons par a_1, a_2, a_3, ... a_n, les n valeurs égales ou inégales qu'elles ont données pour A. Soit s leur somme et m la moyenne de toutes ces valeurs, en sorte qu'on ait

$$s = a_1 + a_2 + a_3 + ... + a_n,$$

$$m = \frac{s}{n}.$$

Si l'on retranche successivement m des valeurs observées a_1, a_2, a_3, ... a_n, on aura leurs écarts de part et d'autre de la moyenne, qui seront en général de très-petites quantités par lesquelles on a coutume de juger de la bonté des observations. Appelons h la demi-somme de leurs carrés, c'est-à-dire faisons :

$$2h = (a_1 - m)^2 + (a_2 - m)^2 + ... + (a_n - m)^2 \quad (1)$$

Il y aura une certaine probabilité p que l'erreur à craindre en prenant m pour la valeur de A, sera comprise entre les limites :

$$\pm \frac{2z\sqrt{h}}{n},$$

ou, autrement dit, si l'on appelle x la vraie valeur de A, qui est inconnue, il y aura cette probabilité p que la différence $x - m$ ne surpassera

pas $\frac{2\alpha\sqrt{h}}{n}$, abstraction faite du signe; α étant un coëfficient numérique que l'on prendra à volonté et d'où dépendra la valeur de p. Or, si n est un grand nombre, et qu'on néglige les quantités de l'ordre de la fraction $\frac{1}{n}$, la valeur de p sera donnée par l'équation :

$$p = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\alpha} e^{-t^2} dt, \qquad (2)$$

dans laquelle e est la base des logarithmes népériens, et π le rapport de la circonférence au diamètre. Suivant l'usage reçu depuis quelque temps, le signe $\int_0^{\alpha}$ indique une intégrale définie, prise depuis zéro jusqu'à α.

Si l'on veut avoir $p = \frac{1}{2}$, il faudra prendre $\alpha = 0{,}4764$ à très-peu près. Ainsi il y aura une probabilité $\frac{1}{2}$, ou un contre un à parier, que l'erreur à craindre sur la moyenne d'un grand nombre n d'observations tombera entre les limites :

$$\pm \frac{0{,}9528}{n} \sqrt{h};$$

la valeur de h étant déduite de leurs écarts, au moyen de l'équation (1).

On trouve à la fin de l'analyse des réfractions astronomiques de Kramp, une table des valeurs numériques de l'intégrale $\int_0^{\alpha} e^{-t^2} dt$, d'où

l'on conclura immédiatement celles de l'intégrale que l'équation (2) renferme, en observant que

$$\int_0^\alpha e^{-t^2}\,dt = \tfrac{1}{2}\sqrt{\pi} - \int_\alpha^\infty e^{-t^2}\,dt.$$

D'après cette table, la valeur de p approche très-rapidement de l'unité à mesure que α augmente; et, pour une valeur peu considérable de α, celle de p diffère très-peu de l'unité ou de la certitude. Voici les valeurs de p qui répondent à quelques valeurs de 2α : on a

$2\alpha = 0,5.\ p = 0,2764;$
$2\alpha = 0,1.\ p = 0,5205;$
$2\alpha = 1,5.\ p = 0,7112;$
$2\alpha = 2,0.\ p = 0,8426;$
$2\alpha = 2,5.\ p = 0,9229;$
$2\alpha = 3,0.\ p = 0,9661;$
$2\alpha = 3,5.\ p = 0,9868;$
$2\alpha = 4,0.\ p = 0,9953;$
$2\alpha = 4,5.\ p = 0,99854;$
$2\alpha = 5,0.\ p = 0,99559.$

On obtiendra les limites correspondantes de l'erreur à craindre sur le résultat moyen des observations, en divisant les valeurs de 2α par le nombre n des mesures; et multipliant dans chaque cas, par la racine carrée de la quantité h, calculée au moyen de l'équation (1).

Cette racine carrée augmentera, en général, avec le nombre n, mais dans un moindre rapport; et l'on démontre que la fraction $\frac{\sqrt{h}}{n}$ est à peu près équivalente à une autre fraction $\frac{g}{\sqrt{n}}$, dont le numérateur g ne dépend pas de n. Il en résulte que la quantité α restant la même, et par conséquent aussi la probabilité p, les limites de l'erreur du résultat moyen se resserreront de plus en plus, et ce résultat convergera indéfiniment vers la véritable valeur de A, à mesure que l'on emploiera un plus grand nombre d'observations. Réciproquement, si l'on fait varier α avec le nombre n, et qu'on le prenne proportionnel à sa racine carrée, les limites de l'erreur seront constantes, mais la probabilité p croîtra de plus en plus, en même temps que le nombre n; c'est-à-dire, qu'il sera de plus en plus probable que l'erreur à craindre sur le résultat moyen tombera entre des limites données, et qu'on pourra rendre cette probabilité aussi approchante qu'on voudra de la certitude, en augmentant convenablement le nombre des observations.

Les formules précédentes seront d'autant plus exactes, que le nombre n sera plus grand. On pourra encore les employer avec utilité dans l'artillerie, lorsqu'on aura seulement dix ou douze mesures d'une même chose A; mais pour

de moindres nombres d'observations, le calcul des probabilités ne fournit plus aucun moyen d'évaluer les limites de l'erreur à craindre, en prenant leur résultat moyen pour la valeur de A. Ce n'est que par un examen très-attentif des causes d'erreurs qui peuvent influer sur les expériences, qu'on jugera dans chaque cas particulier, du degré de confiance dont cette valeur moyenne sera susceptible.

Ces formules supposent essentiellement qu'il n'y a dans les instrumens qu'on a employés, non plus que dans les circonstances qui ont pu influer sur les mesures, aucune cause *constante* d'erreur, c'est-à-dire, aucune cause qui rende ces erreurs prépondérantes plutôt dans un sens que dans un autre. C'est surtout contre les causes constantes d'erreur que les observateurs doivent se prémunir. S'il en existait, le résultat moyen ne convergerait plus vers la véritable valeur de la chose qu'on veut connaître; et, quel que fût le nombre des observations, elles seraient trompeuses, et il faudrait le rejeter. Mais, d'une part, s'il est indispensable que dans chaque observation les erreurs égales, l'une en plus et l'autre en moins, soient également probables, d'un autre côté il n'est pas nécessaire que la loi de probabilité des erreurs soit la même pour toutes les observations; et cette loi inconnue peut changer arbitrairement d'une ob-

servation à une autre (*a*). Ainsi, par exemple, un angle ayant été mesuré, un corps ayant été pesé un grand nombre de fois, avec des instrumens différens et par différentes personnes, et la condition de l'égalité de chance des erreurs égales et de signes contraires étant supposée avoir lieu, les formules feront connaître la probabilité de l'erreur à craindre, en prenant pour cet angle ou pour ce poids la moyenne de toutes les valeurs trouvées.

Si l'on applique successivement ces formules à deux séries, l'une de n et l'autre de n' observations, dont les résultats moyens soient respectivement m et m', et si l'on désigne par k^2 et par k'^2 les valeurs correspondantes de n, calculées d'après l'équation (1), il y aura la même probabilité p, donnée par l'équation (2), que la différence $x-m$ sera moindre que $\frac{2\alpha k}{n}$, et que la différence $x-m'$ sera plus petite que $\frac{2\alpha k'}{n'}$; x étant la vraie valeur de la chose A qu'on a mesurée, laquelle valeur inconnue est la même pour ces deux séries. Les observations, pour être bonnes, devront donner des valeurs de k et k' très-petites, par rapport aux nombres n et n', ou de très-petites valeurs des fractions $\frac{k}{n}$ et $\frac{k'}{n'}$.

(*a*) Additions à la connaissance des temps de 1832, p. 3.

Entre deux séries différentes, la meilleure, à nombre égal, sera celle qui donnera la moindre valeur pour le second membre de l'équation (2). Les différences $x - m$ et $x - m'$ étant très-petites d'après leurs limites probables, il en sera de même à l'égard de $m - m'$; par conséquent, si l'on mesure plusieurs fois une même chose par des moyens semblables ou différens, les moyennes des séries composées d'un grand nombre d'observations, différeront très-peu entre elles; et si cela n'arrive pas, on sera en droit d'en conclure que cette chose a changé de grandeur, ou qu'il y a dans l'une des séries d'observations des causes constantes d'erreurs, qui en rendent les conséquences fautives et mettent les formules en défaut.

Les règles que l'on vient de rappeler conviennent aussi aux cas où les différences entre les valeurs de A, données par l'expérience, ne proviennent pas d'erreurs d'observation, mais sont dues à des causes physiques accidentelles. Chaque valeur trouvée pour A est alors une valeur véritable, résultant de ces causes; mais parmi toutes les valeurs dont cette chose est susceptible, on suppose qu'il en existe une qui est telle, que deux écarts égaux, l'un en plus et l'autre en moins, sont également probables dans chaque observation : c'est cette valeur, ainsi définie, qu'on regarde comme la vraie valeur de A, et

dont le résultat moyen d'un grand nombre d'observations approche de plus en plus à mesure que ce nombre augmente. Supposons, par exemple, que A soit la portée d'un canon dont le calibre et la longueur soient déterminés, ainsi que le poids de la charge et la qualité de la poudre, tirant sous un angle donné et à une hauteur au-dessus du sol aussi donnée. Il n'y aura pas d'erreur sur la mesure de A à chaque coup; cependant les grandeurs mesurées de A pourront différer d'un coup à un autre, à raison de causes accidentelles, comme de petites inégalités dans la force ou le poids de la poudre, dans la position du boulet, dans la manière dont on aura bourré, etc., qui influeront tantôt en plus, tantôt en moins sur la grandeur de la portée; or, on suppose tacitement qu'il existe une portée inconnue x, telle que la probabilité de s'en écarter à chaque coup est la même en deçà et au delà; et c'est cette inconnue x qu'on se propose de déterminer, du moins par approximation, au moyen d'une série d'observations. Il n'est pas nécessaire qu'elles aient eu lieu à la même époque; les circonstances principales d'où dépend la longueur de la portée étant les mêmes, on peut ranger l'influence de tel ou tel canon, si elle existe, et l'influence de la température et de la densité de l'air, à des époques différentes, parmi les causes accidentelles qui

font varier la portée d'un coup à un autre, en plus ou en moins, et qui se balancent sur un très-grand nombre de coups. On pourra donc faire concourir à la détermination dont il s'agit les portées mesurées dans les différentes écoles pendant plusieurs années; si l'on désigne par m la somme de toutes ces portées, divisée par leur nombre n, il y aura la probabilité p donnée par l'équation (2), que la différence $x-m$ ne surpassera pas $\frac{2\alpha\sqrt{h}}{n}$; la valeur de h étant calculée au moyen de l'équation (1). En prenant $2\alpha=5$, par exemple, cette probabilité sera égale à 0,99959, et ne différera pas sensiblement de l'unité qui représente la certitude; si donc la fraction $\frac{\sqrt{h}}{n}$ est très-petite, on pourra prendre la moyenne m pour la valeur de x, sans craindre une erreur plus grande que neuf fois cette fraction, en plus ou en moins.

La connaissance de la portée fournit, comme on sait, un moyen de calculer la vitesse initiale du boulet qui répond à une charge donnée. Il faut pour cela faire usage du tir horizontal, ce qui permet d'exprimer très-simplement la vitesse initiale en fonction de la portée (b), pour

(b) Traité de mécanique de M. Poisson, tom. Ier., pag. 351.

laquelle on prendra la valeur approchée *m*, déterminée comme on vient de le dire. A la vérité, cette fonction de la portée contient aussi le coëfficient de la résistance de l'air proportionnelle au carré de la vitesse, sur lequel il peut encore rester quelque doute. Mais en employant successivement les portées moyennes de deux séries d'observations, qui différeront l'une de l'autre par la hauteur du point de départ du boulet au-dessus du point de chute, et dans lesquelles tous les autres élémens seront les mêmes, on aura deux expressions de la vitesse initiale qui devront être égales; d'où il résultera une équation dont on pourra se servir pour déterminer la valeur numérique du coëfficient de la résistance, ou pour vérifier celle qui est le plus généralement admise. Il serait intéressant de savoir si ce coëfficient varie sensiblement avec la température de l'air, aussi-bien qu'avec la densité; le moyen qu'on indique pour en obtenir la valeur aurait l'avantage de ne pas préjuger la question de savoir si la vitesse initiale dépend de l'inclinaison de la bouche à feu, puisqu'on ne fait changer la portée moyenne d'une série à l'autre, que par l'élévation du canon au-dessus du sol.

Le tir à la *cible* présente encore une application utile des formules précédentes. Supposons que la cible soit circulaire et d'un assez grand diamètre pour être atteinte à tous les coups;

supposons aussi que le soldat vise constamment et du mieux qu'il peut vers le centre de ce disque, et menons par ce point deux droites, l'une horizontale et l'autre verticale. Indépendamment des erreurs dans la direction du tir, qui seront tantôt dans un sens et tantôt dans un autre, il pourra exister dans la construction même du fusil une cause constante qui tendra à élever ou à abaisser les coups, et une autre cause constante qui tendra à les porter vers la droite ou vers la gauche. Cela étant, il y aura des coordonnées inconnues x et y d'un point de la cible, rapportées aux deux axes menés par son centre, qui seront telles, qu'à chaque coup on pourrait parier à jeu égal que l'abscisse du point où la balle viendra frapper surpassera x ou sera moindre, et aussi à jeu égal, que son ordonnée sera plus grande ou plus petite que y. On mesurera avec soin les distances à l'axe vertical des points où les balles auront touché; on en fera la somme, en regardant comme positives les distances des points situés d'un côté de l'axe, et comme négatives celles des points situés de l'autre côté : si le nombre de coups est considérable, cette somme divisée par ce nombre sera une valeur approchée de l'inconnue x. En opérant de même à l'égard des distances à l'axe horizontal, on obtiendra une valeur approchée de y. Pour que le fusil soit *juste*, c'est-à-dire, pour qu'il n'ait au-

cune tendance à dévier à droite ou à gauche, ou bien à abaisser ou à élever les coups, il faudra que ces deux valeurs soient l'une et l'autre nulles ou négligeables. On devra rejeter l'arme qui ne satisfera pas à ces conditions; mais deux fusils qui les rempliront ne seront pas pour cela également bons : si l'on fait, pour chaque fusil, la somme des carrés des distances des balles au centre de la cible, et qu'on divise cette somme par le carré du nombre de coups, le meilleur fusil sera celui pour lequel ce quotient sera le plus petit, les nombres de coups étant très-grands de part et d'autre. Il est inutile de dire que dans cette comparaison, les coups devront être tirés à même distance de la cible, à charge égale, et en même proportion par les différens soldats pour les deux fusils. Un soldat sera plus adroit qu'un autre, si avec la même arme, à charge égale et à même distance, le quotient dont il s'agit est moindre pour le premier soldat que pour le second. Il se pourra qu'un même fusil ne soit pas également bon, à différentes distances de la cible, et pour des charges inégales. Il sera le meilleur à la distance, et pour la charge qui répondraient aux plus petites valeurs de ce même quotient.

Pour connaître la probabilité d'atteindre une cible d'un rayon donné avec un fusil reconnu juste, ou pour lequel les valeurs des coordonnées x et y, conclues d'un grand nombre de coups, se-

ront nulles ou insensibles, désignons par f^2 la somme des carrés des distances de ces coups au centre d'une autre cible, d'un diamètre assez grand pour les comprendre tous, par n leur nombre, par r le rayon de la cible donnée; déterminons la quantité α au moyen de l'équation :

$$\frac{2\alpha f}{n} = r.$$

La probabilité de toucher cette cible sera la valeur de p donnée par l'équation (2), et correspondante à cette valeur de α : si l'on savait seulement que, sur un très-grand nombre n d'épreuves, on a touché une cible ou atteint un but quelconque, un nombre de fois représenté par μ, la probabilité de toucher ce même but, avec la même arme et à la même distance, serait exprimée par le rapport $\frac{\mu}{u}$, en sorte que, si l'on tirait de nouveau un seul coup, il y aurait μ à parier contre $n-\mu$ que le coup porterait, et, si l'on tirait une nouvelle série d'un très-grand nombre de coups n', il serait à peu près certain que le rapport du nombre de coups qui toucheraient, à ce nombre n, différerait très-peu de la fraction $\frac{\mu}{n}$. Cette règle se déduit de la probabilité des événemens futurs, conclue de l'observation des événemens passés; qu'il ne faut pas confondre avec celle qui se rapporte à la probabilité du ré-

sultat moyen des observations. Elle peut suffire dans le cas du tir du boulet ou de la bombe; mais il semble que, pour juger de la justesse des petites armes, et pour les comparer entre elles, il serait utile de recourir aux règles précédentes, où l'on fait entrer, non-seulement les nombres de fois que le but a été atteint, mais encore les écarts plus ou moins grands des différens coups.

RÉSUMÉ

DES PRINCIPAUX TRAVAUX

DES ANNÉES 1828 ET 1829.

L'ARTILLERIE poursuit avec persévérance, mais avec prudence, sa marche progressive. Conservant religieusement ce que les temps anciens nous ont légué d'utile, recueillant les vieilles traditions de l'arme, elle admet en même temps les idées et les inventions nouvelles, lorsque leurs avantages sont bien constatés. C'est en rattachant ainsi les progrès du présent aux enseignemens du passé, et en s'appuyant constamment sur les données de l'expérience, que l'on évite le danger d'innovations peu mûries, qui entraînent trop souvent dans des changemens dispendieux et nuisibles; car les systèmes créés avec précipitation périssent promptement.

Un coup d'œil rapide jeté sur les principales phases historiques de l'artillerie, suffit pour établir que ses perfectionnemens généraux, affectant l'ensemble du matériel, ont toujours été les conséquences d'expériences prolongées, et

pour les arts militaires, la véritable expérience, c'est celle de la guerre. Ce sont nos continuelles incursions en Italie, sous les Valois, dans lesquelles l'artillerie a joué souvent le principal rôle, c'est le passage fréquent des Alpes et des Apennins, qui ont fait ressortir l'inconvenance de ces lourdes pièces, de cet amas de calibres divers, faisant nombre plutôt que système. Les premières réductions dans le poids sont consignées dans une ordonnance de Charles IX. On y découvre les premières traces de construction de bouches à feu, d'après des principes fixes. Ces simplifications furent encore portées plus loin après les brillantes campagnes de Louis XIV; nous leur devons le système de Vallière. Toutefois une certaine confusion se remarquait encore dans le matériel de l'artillerie. Les affûts, les voitures de toute espèce manquaient d'uniformité, et les inconvéniens de cet état de choses se firent sentir dans les campagnes de la guerre de sept ans. Enfin, Gribeauval introduisit l'ordre et l'uniformité dans toutes les parties du matériel; il l'enrichit de l'affût de place et de l'affût de côte; il allégea l'artillerie de campagne et lui donna la mobilité qu'exigent les grands mouvemens stratégiques. Etabli, non sans une opposition longue et passionnée, le système Gribeauval présente des avantages si précieux par la réunion d'une grande mobilité avec une résistance convenable, qu'ils lui ont

valu l'approbation générale, et qu'il fut imité par une partie de l'Europe. Mais depuis cette époque la science stratégique, les arts industriels ont marché d'un pas rapide. L'artillerie n'est pas restée étrangère à cette marche progressive; elle a étudié ces perfectionnemens, elle les a appliqués à ses constructions. Le nouveau système est le produit de ces études, le résultat de ces applications, et déjà, dans une expédition récente, il vient de recevoir la sanction de l'expérience.

Telles sont les époques principales que l'on peut jalonner dans l'histoire du matériel de l'arme. Moins de vicissitudes se manifestent dans l'organisation du personnel, restée depuis longtemps dans un état presque stationnaire. Sorti, à l'origine, des rangs de l'infanterie, adoptant plus tard une dénomination spéciale, mais conservant la forme et la constitution régimentaires du corps dont il sortait, le corps royal de l'artillerie a toujours été dominé par les dispositions immédiates qui ont présidé à sa création. Il était temps d'adopter enfin une organisation plus en harmonie avec les besoins actuels du service. Celle qui vient d'être exécutée porte le cachet d'une véritable spécialité; elle réunit en un seul faisceau les diverses branches de l'artillerie; fait régner partout la même émulation, le même esprit; propage une instruction uniforme, et remplace des distinctions nuisibles par une unité réelle et

constante. La nouvelle organisation est connue, l'avenir en développera de plus en plus les avantages.

Ce qui est maintenant d'une grande importance pour l'instruction des officiers du corps, c'est de connaître la suite des travaux entrepris pour perfectionner le matériel. Les précédens numéros du Mémorial contiennent l'exposition historique des améliorations effectuées jusqu'en 1828. Ce recueil devant servir d'annales aux travaux intérieurs de l'artillerie, on rapportera les résultats des recherches terminées depuis cette époque jusqu'à ce jour.

Les travaux que l'on va successivement résumer sont les suivans :

1°. *Bouches à feu.* Recherches relatives à l'alliage et aux moyens de prolonger la durée des bouches à feu. — Obusiers de siége et de place.

2°. *Artillerie de place et de côte.* Affût. — Triqueballe.

3°. *Armes portatives.* Fusil de rempart. — Recherches relatives à la détermination des charges des armes portatives. — Essais relatifs aux armes percutantes.

4°. *Poudres de guerre.* Essais comparatifs des poudres fabriquées par les anciens et les nouveaux procédés.

5°. *Ponts militaires.* Nouveau baquet. —

Essais d'un système de ponts d'avant-garde. — Ponts de cordages.

1°. BOUCHES A FEU.

Recherches relatives à l'alliage et aux moyens de prolonger la durée des bouches à feu.

La sûreté de l'état, l'économie de ses finances, sont également intéressées à la conservation, à la longue durée du matériel des armées. C'est surtout les armes les plus dispendieuses, les plus difficiles à produire, les bouches à feu de l'artillerie, qu'il faudrait pouvoir préserver d'une trop hâtive destruction. Lorsque ces pièces sont exposées à un tir long et précipité, comme dans l'attaque et la défense des places, de graves détériorations les mettent bientôt hors de service. C'est une fâcheuse expérience acquise dans toutes nos guerres; des plaintes fréquentes contre le peu de durée des pièces en bronze de siége et de place, s'élèvent également chez les étrangers. Aussi a-t-on fait partout des recherches pour remédier à ce grave défaut. Toutes les améliorations possibles à ce sujet se réduisent, soit à remplacer le bronze par un métal plus dur et aussi tenace, soit à adopter un mode de chargement qui amortisse l'action des gaz explosifs et le choc des projectiles contre l'âme. Ces deux genres de perfectionnemens n'ont pas été pour-

suivis avec la même persévérance. C'est vers le premier que les investigations se sont portées avec une prédilection qu'il est facile d'expliquer. D'abord, l'amélioration du métal n'exclut pas celle du mode de chargement, et ensuite on était naturellement entraîné, en voyant les rapides progrès des arts métallurgiques, à invoquer leur secours. Aussi, à diverses époques plus ou moins éloignées, l'artillerie française a fait de grands travaux sur le bronze, avec l'espérance d'obtenir enfin cette résistance si désirée. Mais aucun effort, pour réaliser cette espérance, n'a été jusqu'ici couronné d'un succès complet; des expériences multipliées, dirigées avec discernement par une commission spéciale, et exécutées avec le soin, la conscience, qu'on peut attendre d'une réunion de savans et d'officiers distingués, n'ont pas donné de résultat immédiatement applicable au service. Toutefois dans les arts, les recherches, même infructueuses, portent avec elles une instruction dont profite l'avenir. On croit donc utile de consigner dans le Mémorial la notice de ces essais, et principalement des plus récens, relatifs aux alliages ternaires et aux âmes en fer.

Titre du bronze. — On sait que le bronze, alliage de cuivre et d'étain, doit sa ténacité au premier, sa dureté au second de ces métaux. Ces deux propriétés sont également précieuses,

l'une pour que la pièce ne se déforme ni n'éclate, l'autre pour que l'âme conserve ses dimensions primitives, et ne soit pas sillonnée par le passage du projectile. Chacune de ces propriétés augmente et diminue avec la quantité du métal auquel elle est due. Des essais ont été faits sur les alliages, en faisant varier la proportion de l'étain depuis 4 jusqu'à 18 p. $\frac{0}{0}$; il en résulte que si la dose d'étain dépasse une certaine limite, la chaleur produite par l'inflammation de la poudre occasione la fusion et l'oxidation de ce métal, et donne lieu à des égrènemens et à des affouillemens considérables : que si, au contraire, le titre de l'étain est peu élevé, le bronze s'amollit et perd la faculté de résister à l'action du tir. Ces deux inconvéniens se touchent de si près, qu'il est difficile d'éviter l'un sans rencontrer l'autre. Aussi toutes ces nombreuses expériences n'ont abouti qu'à faire conserver au bronze le titre qu'on lui donne depuis cinquante ans, c'est-à-dire à peu près 10 d'étain p. $\frac{0}{0}$ d'alliage.

Alliage ternaire. — Les grands obstacles métallurgiques qu'on rencontre dans la formation du bronze, l'impossibilité d'établir dans cet alliage binaire une union parfaitement homogène, entre deux métaux dont la fusion et la cristallisation s'opèrent à des températures très-distantes l'une de l'autre, semblaient de-

voir éloigner l'idée de compliquer la difficulté, en cherchant à réunir trois métaux, et surtout en choisissant pour troisième métal, le plus infusible de tous, le fer; mais les considérations théoriques suivantes avaient dès long-temps fait diriger des tentatives sur des alliages ternaires. Pendant l'opération de la fusion, et surtout dans les refontes successives, les métaux s'oxident de plus en plus; l'alliage s'opérant alors non entre les métaux, mais entre leurs oxides, il acquiert des propriétés nuisibles à la conservation de la pièce. On pensa qu'on pourrait faire disparaître cet inconvénient, si on introduisait un troisième métal plus avide d'oxigène que chacun des composans du bronze. Dans cette vue, on essaya d'abord le zinc uni au bronze, mais on n'aperçut aucun avantage bien constaté de l'emploi de ce métal. Il a d'ailleurs le grand inconvénient de se volatiliser dans les fontes successives que le bronze est destiné à subir; il en résulte une altération continuelle dans le titre primitif, et un déchet beaucoup plus considérable que celui de l'alliage ordinaire.

Renonçant donc au zinc, on se détermina, malgré les difficultés de l'exécution, à tenter l'alliage ternaire du cuivre, de l'étain et du fer, et cela par plusieurs motifs. D'abord à raison de sa grande affinité pour l'oxigène, le fer paraissait éminemment propre à opérer la désoxida-

tion des deux autres métaux; ensuite on savait qu'on était parvenu à opérer un tel alliage très-en grand, à la fonderie de Sisterback, en Russie; en effet, vers 1816, on y employa jusqu'à 30 p. $\frac{0}{0}$ de fonte de fer pour l'unir au bronze; mais l'analyse chimique a prouvé depuis que l'alliage ne conservait réellement que 2 à 3 p. $\frac{0}{0}$ de fer. En France on avait réussi, en 1817, à unir au bronze environ 1 $\frac{1}{2}$ p. $\frac{0}{0}$ de fer, en employant celui-ci à l'état de fer-blanc. Des essais en grand sur cet alliage ternaire furent en conséquence ordonnés; ils eurent lieu en 1827, à l'École de Douai. On parvint bien à allier très-intimement le fer avec le bronze, mais en proportion extrêmement faible; la grande différence de fusibilité du fer et du bronze rendait impossible leur fusion immédiate; il fallait d'abord former une combinaison binaire de fer et d'étain, qu'on projetait ensuite dans le bronze en fusion; quelque grande que fût la portion de la combinaison binaire, l'alliage ternaire ne contenait jamais au delà de 4 p. $\frac{0}{0}$ de fer. Des bouches à feu coulées avec cet alliage présentèrent d'abord beaucoup de soufflures, de gerçures, dont quelques-unes pénétraient jusqu'à l'âme et rendaient le tir dangereux.

Sans se décourager du peu de succès des premières tentatives, on continua à fabriquer, avec tous les perfectionnemens indiqués par l'expé-

rience, un assez grand nombre de bouches à feu en alliage ternaire. Des épreuves comparatives eurent lieu tant à Douai qu'à Vincennes; mais aucune de ces expériences ne donna de résultat complétement satisfaisant, et même il se manifesta dans la commission un grand dissentiment d'opinions sur les faits les moins défavorables à cet alliage. On jugea donc inutile de continuer des épreuves qui, outre les dépenses considérables qu'elles nécessitent, peuvent encore distraire l'attention et l'empêcher de se porter sur d'autres moyens plus efficaces et moins difficiles à employer, pour améliorer les bouches à feu.

Ames en fer. — On essaya à diverses époques, pour renforcer l'âme des pièces en bronze, de la revêtir d'un tube cylindrique de fer forgé, de même longueur que l'âme. Le cylindre, du calibre de la pièce, était plongé dans le bronze en fusion, et maintenu dans le moule au moyen de chapelets. La soudure s'opérait bien, surtout à la surface extérieure. On forait ensuite la pièce jusqu'à ce qu'on atteignît le cylindre en fer. Les mêmes expériences furent répétées en 1818, à la fonderie de Strasbourg, sur une pièce de 24 qui se dérangea dans la coulée, et sur une pièce de 4 qui réussit bien; ayant été éprouvée en 1821 à l'École de La Fère, elle donna des résultats de tir assez satisfaisans.

La grande difficulté de forger d'une seule pièce

un tube assez long pour former l'âme des pièces de canon de siége et de place, fit naître plus tard l'idée de le remplacer par un cylindre plus court, appelé *manchon*, qui était également en fer forgé, mais qui n'occupait que l'emplacement de la charge, depuis le fond de l'âme jusqu'à quelques centimètres au delà de la position du boulet. Ce manchon était assujetti dans le moule par un chapelet placé vers le milieu de sa longueur. On soumit des pièces ainsi confectionnées aux épreuves du tir; elles présentèrent des logemens de boulet comme les pièces en bronze; on essaya de laisser une légère couche de bronze sur le manchon en fer forgé, dans le double but d'empêcher l'oxidation de ce métal, et de le rendre plus apte à résister à la pression du projectile; mais les logemens de boulets eurent lieu comme auparavant, et il se forma en outre, au bout de très-peu de temps, beaucoup plus d'égrènemens et d'affouillemens qu'il ne s'en manifeste d'ordinaire, parce que le bronze qui recouvrait le fer était alors plus chargé d'étain.

Attribuant le peu de succès des moyens employés à la résistance trop faible du fer forgé, on le remplaça par une matière plus dure, par la fonte. On coula, par ce procédé, des pièces avec âme entière et portion d'âme revêtue en fonte. La soudure s'opéra bien à l'extérieur; mais à l'intérieur, il n'y avait qu'une forte adhé-

rence. De plus, après un petit nombre de coups, la fonte se fendait et ne permettait plus de continuer le tir sans danger. Enfin, pensant que la non-réussite des premiers essais pouvait provenir de la mauvaise qualité que donnait au fer le mode de fabrication des cylindres, et du grand nombre de chaudes qu'il fallait donner au métal, et qui finissait par le *brûler*, on substitua aux cylindres d'une seule pièce d'autres cylindres formés de plusieurs douelles réunies et fortement serrées par des frettes. Ce genre de fabrication fut employé en 1828, à la fonderie de Strasbourg, où l'on coula ainsi quatre pièces de 24.

Le cylindre de la première pièce était en fer, et formé de six douelles. A l'épreuve de réception, le canon eut, dans la région de la charge, des refoulemens considérables; l'augmentation du diamètre intérieur alla jusqu'à trente-huit points; les douelles furent disjointes, le grain de lumière ébranlé, et la pièce complétement mise hors de service. L'examen du tronçon fit reconnaître que ces dégradations devaient être attribuées, en grande partie, aux frettes, qui dans la coulée s'étaient dessoudées ou fracturées.

Le cylindre de la seconde pièce était en fer et formé de quatre douelles; dans les deux autres pièces, les cylindres, chacun de 10 douelles,

étaient l'un en acier de cémentation, et l'autre en fer recouvert intérieurement d'une couche de bronze. Ces trois dernières pièces, ayant bien résisté aux épreuves de réception, furent soumises en 1829 à des épreuves ultérieures. Après quatre salves de 25 coups, les trois pièces présentèrent les dégradations suivantes :

Dans le premier canon, les réunions des douelles étaient devenues sensibles au crochet ; dans le deuxième, les jonctions étaient devenues apparentes dans toute leur longueur, et l'âme paraissait crevassée en plusieurs endroits ; enfin dans la troisième pièce, la partie correspondante à l'hémisphère supérieure du boulet, présentait des affouillemens considérables. Ces dégradations allèrent toujours en augmentant dans la suite du tir, et les pièces furent entièrement hors de service : la première après 164 coups, la seconde après 175, et la troisième après 202.

L'examen attentif des éclats et des tronçons de ces pièces fit reconnaître qu'il n'y a point de soudure réelle des frettes avec les douelles, ni des douelles entre elles, mais seulement infiltration de métal en quelques parties; par conséquent on ne peut pas considérer les douelles comme formant corps ensemble. Dès lors, l'effort des gaz tend à pousser les douelles contre les frettes, et celles-ci contre le bronze; tous ces mouvemens amènent la disjonction des douelles et la des-

truction de la pièce au bout d'un petit nombre de coups.

Ces résultats ne laissent aucun doute sur la nécessité de renoncer aussi à ce genre de fabrication. En persévérant dans cette voie, on s'exposerait sciemment à perdre en efforts infructueux un temps précieux, des sommes considérables; il est donc urgent de revenir au second moyen de perfectionnement énoncé au commencement de cette notice. Déjà, dans l'introduction du Mémorial (page 49), on a fait connaître les résultats avantageux obtenus de quelques essais faits sur l'influence que peuvent avoir sur la durée des pièces, diverses sortes de chargemens, le vent du boulet, l'interposition des sabots; on a lieu d'espérer que l'on obtiendra encore plus de succès, en dirigeant vers ces objets des recherches ultérieures.

Obusiers de siége et de place.

Inventés les derniers, et introduits tard dans le système des bouches à feu, les obusiers avaient conservé des défauts graves, qu'en diverses occasions nos dernières guerres ont mis en évidence. On leur reprochait avec raison de fournir des portées trop faibles, de manquer de justesse, de produire des effets d'une médiocre intensité. Aussi, lorsqu'en 1815 on entreprit la révision des différentes parties du matériel, le perfec-

tionnement des obusiers devint un des principaux objets de recherches. Les précédens numéros du Mémorial ont fait connaître les essais et les perfectionnemens successifs, par suite desquels des obusiers allongés, des calibres de 6° et de 24, furent adoptés pour le service des batteries de campagne. La guerre de montagne exigeait une bouche à feu spéciale ; on y consacra l'obusier de 12. Ces trois obusiers remplissent toutes les conditions d'un bon service.

Pour compléter le système des obusiers de l'artillerie française, il restait à déterminer le calibre et les dimensions des bouches à feu de cette espèce, destinées soit à l'attaque, soit à la défense des places. On reconnut qu'un même obusier, du calibre de 8°, pouvait être employé avec avantage pour ces deux genres d'opérations. Les obusiers longs exigeant l'emploi de sabots, dont les éclats, projetés en avant de la bouche de la pièce, peuvent être dangereux dans diverses circonstances de la guerre des siéges et surtout dans la défense des places, on fut contraint de donner la préférence à un obusier court, c'est-à-dire, ayant une longueur qui permît d'introduire la charge à la main.

Le calibre et la longueur de l'obusier ainsi fixés, il restait encore à déterminer plusieurs élémens essentiels de la construction de cette nouvelle bouche à feu, tels que son poids, la

prépondérance de la culasse, l'emplacement de l'axe des tourillons, la charge à employer, enfin le choix et la construction de l'affût. Relativement à ce dernier objet, on regarda comme une simplification très-importante, si elle pouvait être obtenue, que l'obusier de 8° pût être tiré sur l'affût de siége de 24, et ce fut une des conditions que l'on chercha à remplir.

Deux séries d'expériences, exécutées à Strasbourg en 1827 et au commencement de 1829, sur un obusier du poids de 900 kil. proposé par une commission spéciale chargée de s'occuper de tout ce qui concernait les dimensions et l'alliage des bouches à feu, firent reconnaître qu'avec la charge de $1^k,50$, les affûts de siége de 24 ne pouvaient résister; et d'un autre côté les portées obtenues avec cette charge et sous les plus grands angles, n'excédant pas celle qui avait été jugée nécessaire pour le service des siéges, cette charge ne parut plus susceptible d'être réduite. On regarda donc comme indispensable de porter à 1200 kil. le poids de cet obusier, en le rendant cylindrique extérieurement, et en augmentant l'épaisseur du métal en arrière du fond de la chambre. La distance de l'axe des tourillons à celui de l'âme fut portée à $\frac{1}{4}$ du calibre. Quant à la prépondérance de la culasse, on crut devoir consulter l'expérience pour la déterminer. La charge de poudre fut

fixée à $1^k,50$. Cependant l'on jugea qu'il serait dans l'intérêt du service d'essayer si l'on ne pourrait pas employer avec les affûts de 24 ordinaires les charges de $1^k,75$ et 2^k de poudre, susceptibles de donner des portées et des quantités de mouvement d'une grande utilité dans la guerre des siéges.

De nouvelles expériences eurent lieu en conséquence à Strasbourg, dans le courant de 1829, sur deux obusiers de 8°, construits d'après les principes précédens, mais dont l'un (désigné sous le n°. 1), avait une prépondérance de culasse égale au $\frac{1}{8}$ du poids total, et l'autre (désigné sous le n°. 2), avait une prépondérance de $\frac{1}{6}$. Ces épreuves avaient principalement pour but de constater les portées, la justesse du tir, le recul et la résistance tant de la bouche à feu que de l'affût. On tira sous les angles de 1° (but en blanc), de 5°, de 10°, et sous le plus grand angle que pouvait permettre la construction de l'affût. Les charges employées furent celles de $0^k,50$ — $1^k,00$, $1^k,50$ — $1^k,75$ et 2^k. Le tableau suivant présente les moyennes des résultats obtenus.

CHARGES.	ANGLES.	PREMIÈRE CHUTE. Portée. N°. 1.	Portée. N°. 2.	Déviation. N°. 1.	Déviation. N°. 2.	PORTÉE ½ EXTRÊME. N°. 1.	N°. 2.	RECUL. N°. 1.	N°. 2.	NOMBRE DE RICOCHETS.
0k,50	1° (but en blanc).	132m	134m	0m,69	0m,80	745m	705m	1m,24	1m,23	3 à 4
	5°	333	337	2 ,30	2 ,30	742	779	0 ,74	0 ,75	4
1 ,00	1° (but en blanc).	224	211	1 ,53	1 ,43	1188	1130	1 ,71	1 ,68	6
	5°	570	500	5 ,06	5 ,23	1244	1282	1 ,60	1 ,62	5 à 6
	10°	981	981	20 ,82	24 ,33	1288	1228	1 ,63	1 ,62	2 à 3
	12°,16′	1223	1288	40 ,12	40 ,08	1279	1338	1 ,54	1 ,51	»
1 ,50	1° (but en blanc).	314	357	1 ,36	1 ,35	1398	1453	4 ,96	4 ,20	6
	5°	862	827	9 ,54	8 ,25	1635	1560	2 ,16	2 ,22	6
	10°	1392	1459	26 ,85	50 ,12	1489	1545	2 ,72	2 ,53	1
	12°,26′—12°,40′	1695	1637	49 ,60	49 ,16	1728	1672	1 ,88	2 ,34	»
1 ,75	12°,16′—12°,30′	1768	1760	49 ,92	56 ,50	1783	1788	3 ,64	3 ,68	»
2 ,00	12°,40′—12°,50′	1887	1927	62 ,62	43 ,20	1893	1932	3 ,12	3 ,02	»

On voit, d'après ces résultats, que, sous le rapport des portées, de la justesse du tir, du recul, les deux obusiers ne présentent pas de différences sensibles. Il n'en est pas de même sous le rapport de la conservation de l'affût. Le fouettement de la culasse, peu marqué avec les charges de 1k,50 et au-dessous, devient beaucoup plus prononcé avec les fortes charges, pour l'obusier n°. 2 que pour l'obusier n°. 1. L'affût de celui-ci résista très-bien aux 300 coups que tira cette bouche à feu, tandis que celui du n°. 2 fut mis hors de service après 150 coups, et que ce ne fut qu'après l'avoir réparé et consolidé par une bride en fer, sous la tête de la flèche qu'il fut possible de continuer les épreuves.

Ces motifs déterminèrent à adopter définitivement l'obusier de 8° n°. 1, dans lequel la prépondérance de la culasse n'est que le $\frac{1}{8}$ du poids total. Cet obusier réunit les conditions essentielles d'une portée étendue et d'une justesse de tir suffisante. Il se place sur l'affût de siége de 24, et la résistance de cet affût permet l'emploi des plus fortes charges que comporte le service de cette bouche à feu. Le seul inconvénient qu'il présente, et qui est la conséquence de son peu de longueur, est de dégrader les embrasures dans le tir à forte charge et sous les petits angles. Mais ce tir n'est pas le plus habi-

tuel, et, dans les circonstances où il devrait être employé, on pourrait modifier les dimensions des embrasures.

L'obusier de siége de 8°, joint aux obusiers de campagne de 6° et de 24, et à l'obusier de montagne de 12, complète le système d'obusiers en bronze de l'artillerie française. Le tableau suivant présente l'ensemble de ces quatre bouches à feu, et fait ressortir les caractères distinctifs particuliers aux différens genres de service auxquels ils sont respectivement destinés.

ESPÈCE.	CALIBRE		POIDS		POIDS		Prépondérance de la culasse.	Abaissement de l'axe des tourillons en portion de calibre.	OBSERVATIONS.
	DE L'AME.	DE LA CHAMBRE.	DE L'OBUSIER.	DE L'OBUS.	DE LA FORTE CHARGE.	DE LA FAIBLE CHARGE.			
Montagne.	de 12	de 4	100 k.	4 k.	0k,27	•	25	$\frac{1}{5}$	
Campagne.	de 24	de 8	600	7	1 k.	0 k,50	66	$\frac{1}{10}$	
	de 6°	de 12	900	11	1 k,50	0 ,75	100	$\frac{1}{10}$	
Siége. . . .	de 8°	de 12	1200	22	2 k.	1 k et au-dessous.	150	$\frac{1}{4}$	

Indépendamment de ce système d'obusiers en bronze, on a fait fabriquer et on va incessamment mettre en expérience une nouvelle espèce d'obusier long en fer coulé, pour la défense des côtes, qui formera le premier essai du passage du système de bouches à feu en bronze, à celui de bouches à feu en fer; changement qui mérite d'être tenté à cause de la grande économie qu'il apporterait dans l'armement des places et la composition des équipages de siége, mais qui ne doit l'être qu'après de nombreux essais et avec la plus grande circonspection.

2°. ARTILLERIE DE PLACE ET COTE.

Affût.

Les deux affûts du système de Gribeauval, destinés au service des places et des côtes, présentent quelques inconvéniens connus de tous les artilleurs, et auxquels on a dû chercher à remédier. Un premier projet d'affût, destiné à la fois à l'armement des places et à celui des côtes, fut proposé en 1825. Il fut mis en construction dans tous les Arsenaux, et éprouvé comparativement avec les anciens affûts dans toutes les Écoles d'artillerie. Ces expériences montrèrent la nécessité d'apporter à sa construction d'importantes modifications, qui furent en

effet exécutées, et l'affût ainsi modifié fut soumis en 1826 et en 1827 à de nouvelles épreuves.

On reconnut généralement au nouvel affût des avantages incontestables sur les affûts de l'ancien système; toutefois, dans le tir à forte charge, au-dessus du tiers du poids du boulet, l'affût, et particulièrement celui du calibre de 16, en descendant des coins placés sur le derrière du châssis, tendait à rentrer violemment en batterie, à ébranler le système et à occasioner des dégradations. Afin de faire disparaître ce défaut, et de simplifier en même temps l'affût de 24 par la suppression de l'enrayage des roues sur le rouleau-corps-d'essieu, on revint à un moyen déjà entrevu lors des premiers essais, et que la théorie indiquait comme devant modérer le recul; ce moyen consiste à faire porter l'affût sur le châssis par le gros bout des moyeux et non comme auparavant par les bandes. Un affût construit d'après cette nouvelle disposition, fut soumis à des expériences définitives, par les soins d'une commission d'officiers généraux. Ces expériences qui décidèrent l'adoption du nouvel affût, n'ayant eu lieu que dans une seule école, il a paru nécessaire de faire connaître avec quelques détails les résultats obtenus, en insérant dans le Mémorial un extrait des procès-verbaux d'épreuves.

On y employa 3 pièces de 24 en bronze,

servies chacune par 5 hommes, montées sur trois affûts de différens modèles, savoir :

Un affût de place et côte. . .	Nouveau modèle.
Un *id.* de place.	Ancien modèle.
Un *id.* de côte.	*id.*

Chaque affût était établi sur une plate-forme particulière, près de la butte.

Résultats du tir. — Chaque pièce tira 108 coups, moitié à boulet roulant, moitié avec sabot, avec les charges de 4^k, 5, 5^k,50 et 6^k, sous les angles 0°, 4 et 8 degrés au-dessus et au-dessous de l'horizon; sur ces 108 coups, 78 furent tirés à châssis sec, et les 30 autres à châssis mouillé. Les pièces montées sur l'affût, nouveau modèle, et sur l'affût de place, ancien modèle, tirèrent en outre chacune 6 coups à faible charge, afin de s'assurer si le recul était suffisant pour charger la pièce sans la mettre hors de batterie.

Les reculs obtenus sont indiqués dans le tableau ci-après.

Nombre de coups tirés par pièce.	Poids de la charge de poudre.	DÉSIGNATION DE L'ESPÈCE DE CHARGEMENT.	Angles de tir.	RECULS MOYENS DE L'AFFUT — DE PLACE ET CÔTE, NOUVEAU MODÈLE.	DE PLACE, ANCIEN MODÈLE.	DE CÔTE, ANCIEN MODÈLE.
				TIR A CHASSIS SEC.		
6	4 k.	à boulet roulant.	−8°	1m,33	3m,41	1m,11
6	4	avec sabot.	−8	1 ,24	3 ,14	1 ,11
6	4	à boulet roulant.	−4	1 ,32	3 ,15	1 ,04
6	4	avec sabot.	−4	1 ,61	3 ,13	1 ,10
6	4	à boulet roulant.	0	1 ,35	3 ,20	1 ,02
6	4	avec sabot.	0	1 ,15	3 ,21	0 ,00
6	4	à boulet roulant.	4	1 ,35	3 ,16	0 ,98
6	4	avec sabot.	4	1 ,31	3 ,11	0 ,99
6	4	à boulet roulant.	8	1 ,23	3 ,11	0 ,90
6	4	avec sabot.	8	1 ,24	3 ,10	0 ,86
3	5	à boulet roulant.	8	1 ,53	3 ,40	1 ,88
3	5	avec sabot.	8	1 ,62	3 ,40	1 ,11
3	5,5	à boulet roulant.	8	1 ,64	a dépassé le châssis.	1 ,05
3	5,5	avec sabot.	8	1 ,96	3 ,50	1 ,36
3	6	à boulet roulant.	8	2 ,20	a dépassé le châssis.	1 ,33
3	6	avec sabot.	8	2 ,09	*id.*	1 ,52
3	3	à boulet roulant.	0	1 ,01	2 ,63	•
3	3	avec sabot.	0	0 ,97	2 ,80	•
				TIR A CHASSIS MOUILLE.		
3	4	à boulet roulant.	0	2 ,37	3 ,36	1 ,70
3	4	avec sabot.	0	2 ,17	3 ,35	1 ,75
3	4,5	à boulet roulant.	8	2 ,42	3 ,46	2 ,03
3	4,5	avec sabot.	8	2 ,54	3 ,46	1 ,77
3	5	à boulet roulant.	8	2 ,84	a dépassé le châssis.	Recul extrême.
3	5	avec sabot.	8	2 ,72		
3	5,5	à boulet roulant.	8	à l'extrémité du châssis.		
3	5,5	avec sabot.	8	2 ,84	•	
3	6	à boulet roulant.	8	à l'extrémité du châssis.	•	
3	6	avec sabot.	8		•	

Dans le cours des épreuves, la commission fit les remarques suivantes :

Affût de place et côte, nouveau modèle.

1°. Dans le recul, le mouvement de la pièce s'opère sans aucun balancement, avec une vitesse uniforme, et la stabilité des deux châssis n'en est point ébranlée. Après le recul, la pièce n'a pas de tendance à rentrer en batterie, ce qui a constamment dispensé de placer des coins d'arrêt sous les moyeux.

2°. Le nouvel affût permet de tirer à la charge de 6 kil., tant à châssis sec qu'à châssis mouillé ; seulement, dans le tir à fortes charges, on doit mettre un pointal sous l'extrémité de la poutrelle directrice, pour empêcher le système de basculer en arrière.

3°. Avec la charge de 3 kil. on obtient le recul nécessaire pour pouvoir facilement charger la pièce.

4°. Le chargement s'opère sans difficulté, à l'aide du support de levier fixé contre l'un des côtés du coussinet de l'écrou en cuivre. Un seul homme suffit pour élever ou abaisser la culasse. Cet affût permet de pointer à 9° au-dessus de l'horizon avec la vis, à 13° en ôtant cette vis, et à 16° en ôtant l'écrou ;

5°. Deux hommes, agissant à bras à l'extrémité de la poutrelle directrice, peuvent faire mouvoir circulairement le grand châssis.

6°. Enfin, trois hommes peuvent facilement ramener la pièce en batterie, et suffisent pour la mettre hors de batterie.

Affût de place, ancien modèle.

1°. Dans le tir à la charge de 4 kil., il faut mettre le coussinet (ou un pointal) sous l'auget, afin que le système ne puisse pas basculer en arrière.

2°. La pièce rentre en batterie avec beaucoup de vitesse, et tend à culbuter en avant, quand on ne cale pas les roues. Dans le tir à châssis mouillé, lorsque la pièce est rentrée en batterie, les roues ont entraîné les coins d'arrêt, et la roulette est sortie plusieurs fois de l'auget.

3°. Avec la charge de 5 kil. à châssis mouillé et 5 k 5 à châssis sec, l'affût, dans le recul, a dépassé le derrière du châssis.

Affût de côte, ancien modèle.

1°. Dans le tir à forte charge, les deux châssis ne conservent pas la stabilité convenable; le petit rouleau de l'affût heurte fortement contre les taquets de derrière du grand châssis, et par suite tout le système est entraîné en arrière de la plate-forme. Les deux châssis et la cheville ouvrière ont été détériorés dans les épreuves.

2°. Avec l'affût de place et l'affût de côte, ancien modèle, il faut quatre hommes pour

mettre en batterie ou hors de batterie, et pour le dernier la manœuvre est lente et pénible.

En employant, comme on l'a fait dans les épreuves du tir, cinq hommes pour le service de chacune des trois bouches à feu, on a remarqué que pour charger et mettre en batterie le temps moyen employé était :

Pour la pièce montée sur affût de place et côte, nouveau modèle. . . . . 1′ 38″

Sur celui de place, ancien modèle. . 1′ 57″

Sur celui de côte, ancien modèle. . 1′ 51″

Après avoir ainsi comparé les trois affûts sous le rapport des résultats du tir et de la promptitude de la manœuvre, la commission les a également comparés sous le rapport de la facilité et de la promptitude des manœuvres d'armement et de désarmement, sous celui de l'amplitude du champ de tir et du plus ou moins de prise qu'ils offrent aux coups du ricochet. Elle a terminé ses opérations par constater le poids comparatif de ces affûts, et l'état où ils se trouvaient après les épreuves.

Armement et désarmement: — Le transport des plates-formes, des affûts, des pièces et de leurs armemens s'effectua par les moyens suivans :

L'affût de place et côte, nouveau modèle, et l'affût de place ancien modèle, montés de leur pièce et placés sur leur avant-train, étaient cha-

cun attelés de six chevaux. Pour chacun de ces affûts, un chariot attelé de deux chevaux portait la plate-forme, les châssis et les armemens.

L'affût de côte, ancien modèle, ses châssis, sa plate-forme, les armemens et agrès nécessaires, étaient portés sur trois chariots attelés chacun de deux chevaux. La pièce fut transportée au moyen du triqueballe attelé de six chevaux.

L'affût de place et côte, nouveau modèle, et l'affût de place, ancien modèle, furent conduits vis-à-vis l'emplacement de l'une des batteries, dans une partie où la différence de niveau entre le sol et le dessus de la plate-forme représentait l'élévation du terre-plein des batteries de place.

Les manœuvres comparatives d'armement et de désarmement ont fait connaître que pour armer, c'est-à-dire, pour décharger les chariots, construire les plates-formes, monter la pièce sur le terre-plein et la mettre en batterie, il fallait 59 minutes avec l'affût de place et côte, nouveau modèle, 1 heure 50 minutes avec l'affût de place, ancien modèle, et 2 heures 40 minutes avec l'affût de côte. Le désarmement n'a exigé que 12 minutes avec l'affût de place et côte, nouveau modèle, 24 avec l'affût de place, ancien modèle, et 59 avec l'affût de côte.

Amplitude du champ de tir. — La commission s'est assurée de l'amplitude du champ de tir que permet chaque système.

La cheville ouvrière du châssis étant placée à la distance voulue du pied du talus intérieur, c'est-à-dire à $0^m,70$ pour l'affût de place et côte, nouveau modèle, à $0^m,80$ pour l'affût de place, ancien modèle, et à $0^m,65$ pour l'affût de côte, ancien modèle, on a reconnu qu'en faisant mouvoir le grand châssis sur la plate-forme autour de la cheville ouvrière, l'arc parcouru par un des points du grand châssis était :

Pour l'affût de place et côte, nouv. mod., de	180°	dont moitié de chaque côté de la directrice, perpendiculaire à la crête de l'épaulement.
Pour l'affût de place, ancien modèle, de	45	
Pour l'affût de côte, ancien modèle, de	120	

Visite des affûts. — Dans l'affût de place et côte, nouveau modèle, les parties en bois ou en fer n'ont nullement été détériorées.

Les deux châssis n'ont également offert aucune dégradation.

Trois ouvriers en une demi-heure ont désassemblé les différentes parties de l'affût.

L'affût de place, ancien modèle, et les châssis étaient en bon état.

Dans l'affût de côte, ancien modèle, les côtés, les entretoises du petit châssis et l'entretoise du devant du grand châssis étaient cassés, la cheville ouvrière et les boulons qui fixaient les taquets de derrière se trouvaient tordus.

Afin de pouvoir comparer les trois affûts sous le rapport du plus ou moins de prise qu'ils offrent aux coups du ricochet, on a calculé la surface du profil de chaque système, et on a trouvé :

Pour le système de place et côte, nouv. mod.	2m,670
———————de place, ancien modèle. .	3 ,600
———————de côte, ancien modèle. . .	3 ,970

Les surfaces en prise au ricochet sont par conséquent pour le nouvel affût de place et côte, comparé à celui de place ancien, dans le rapport de 3 à 4 : comparé à l'affût de côte, dans celui de 2 à 3.

Enfin on a pesé les différentes parties des affûts et des châssis, et l'on a reconnu que le poids total était de 1558 kil. pour l'affût de place et côte, nouveau modèle, de 1634 pour l'affût de place ancien, et de 1966 pour l'affût de côte.

La commission termine son rapport par faire remarquer qu'il résulte des observations faites pendant les diverses épreuves, que l'affût de place et côte, nouveau modèle, comparé à l'affût de place, ancien modèle, a sur ce dernier les avantages suivans :

1°. Il donne des reculs moins grands, et permet en outre de tirer avec de plus fortes charges;

2°. L'exécution de la bouche à feu est plus facile et plus prompte;

3°. Le champ de tir a plus d'étendue;

4°. Le système présente une plus grande stabilité ;

5°. Il réunit à une grande mobilité, assez de fixité pour assurer la direction du tir, même pendant la nuit ;

6°. Il facilite le transport de la pièce, et permet d'armer ou de désarmer plus facilement et plus promptement;

7°. Le système est moins pesant ;

8°. Sa plate-forme s'établit avec plus de promptitude et de facilité ;

9°. Il offre moins de prise aux coups du ricochet.

L'affût de place et côte, nouveau modèle, comparé à l'affût de côte, ancien modèle, a l'avantage :

1°. De permettre de tirer avec de plus fortes charges et sous des angles plus élevés ;

2°. De faciliter l'exécution de la bouche à feu et de la rendre plus prompte;

3°. D'être plus facile à transporter;

4°. D'être établi plus promptement et plus facilement en batterie ;

5°. De former un système beaucoup moins pesant ;

6°. D'offrir moins de prise aux coups du ricochet.

L'avis unanime de la commission est que la réunion de ces faits établit la supériorité du

nouvel affût sur les deux anciens sous tous les points de vue, et qu'en conséquence, c'est une grande amélioration dans le système du matériel, que d'adopter cet affût pour remplacer les deux autres.

Triqueballe.

Il existe maintenant dans l'artillerie deux espèces de triqueballes, l'un dit triqueballe ordinaire, l'autre triqueballe à vis. L'un et l'autre présentant des défauts de constructions et en même temps des inconvéniens plus ou moins graves dans le service, on a cherché à établir un nouveau modèle qui en fût exempt.

La manœuvre du triqueballe ordinaire est difficile et dangereuse; ses roues, de 7 pieds de diamètre, manquent de solidité. Son essieu en bois est nuisible au roulage; sa longue flèche, quoique renforcée d'une bande de fer, casse souvent; enfin, l'avant-train de siége à limonière, qui lui est destiné, ne convient pas aux attelages de l'artillerie. Aussi cet avant-train a presque toujours été remplacé par celui de 8 de campagne, quoique ce dernier ne remplisse pas les conditions nécessaires.

La manœuvre du triqueballe à vis ne présente pas de danger, mais elle est très-longue. Le mécanisme en est compliqué et exige pour son entretien des soins que l'on ne peut pas toujours obtenir dans les circonstances ordinaires du ser-

vice. La rouille ou le cambouis arrêtent les mouvemens de la vis.

On a pensé qu'il était convenable de remplacer le mécanisme du triqueballe à vis par un treuil, qui dispenserait de même de la manœuvre pénible et dangereuse de l'abatage, et qui n'exigerait pas, pour son entretien, les soins minutieux que demande le triqueballe à vis, attendu que la rouille ne peut pas augmenter sensiblement les difficultés de la manœuvre. On a en conséquence établi un nouveau modèle de triqueballe, auquel on a adapté ce genre de mécanisme. Le diamètre des roues a été réduit à deux mètres, ce qui leur donne plus de solidité, tout en permettant d'élever le fardeau à la même hauteur qu'avec l'ancien triqueballe. La boîte et les ferrures de cette roue sont celles de la roue de siége. L'avant-train a l'essieu, le timon et la volée de toutes les voitures de campagne, et la roue de l'avant-train du chariot de parc.

Le mécanisme se compose d'un treuil en fer forgé, placé dans deux coussinets en fer coulé. Sur le treuil, en dehors des coussinets, se trouvent deux *boîtes porte-levier* qui tournent autour du treuil. En dehors de ces boîtes, sont assemblés avec les extrémités du treuil deux disques en fer coulé, percés chacun de huit trous destinés à fixer, au moyen de deux chevilles,

les boîtes porte-levier. Au milieu de la longueur du treuil est une poulie crémaillère en fer coulé; vis-à-vis et en avant de cette poulie, se trouve une dent de loup, dont le bout inférieur est retenu sur la flèche, et dont le bout supérieur engrène avec la crémaillère pour arrêter le treuil à volonté. Sur les côtés de la poulie crémaillère sont fixées deux chaînes, dont les bouts inférieurs sont réunis à une traverse qui porte deux crochets, auxquels s'attache le fardeau qu'on veut lever. Chaque chaîne doit subir une tension d'épreuve avant d'être mise en place; le poids de tension est de 4,500 kilogrammes.

La manœuvre du triqueballe est analogue à celle de la chèvre, mais plus simple, en ce qu'elle est arrêtée à chaque huitième de tour du treuil par la dent de loup, et qu'au lieu de débarrer et d'embarrer les leviers à chaque abatage, il suffit de les faire tourner avec leur boîte autour du treuil, et de les arrêter au moyen des chevilles des disques. Quand le fardeau est arrivé à la hauteur voulue, on arrête la dent de loup au moyen d'une chevillette coudée, et si c'est un canon, on attache le bouton de culasse par son collet, à deux chaînes qui se trouvent fixées au-dessous de la flèche. Il faut cinq hommes, dont un chef, pour la manœuvre d'un canon de 36 ou d'un canon de 24. Trois hommes suffisent pour

le canon de 16 et pour les fardeaux d'un poids inférieur.

Une minute suffit, soit pour élever un canon de 24 à la hauteur voulue, soit pour le descendre.

De premières épreuves, auxquelles ce triqueballe a été soumis dans plusieurs arsenaux, ont constaté ses avantages, et ont en même temps fait reconnaître la nécessité de quelques améliorations de détail, qui ont été introduites dans sa construction.

3°. ARMES PORTATIVES.

Fusil de rempart.

On apprécie depuis long-temps les grands avantages que la défense des places pourrait tirer de l'usage des *fusils de rempart*, si ces armes réunissaient à une grande justesse dans le tir une suffisante étendue dans la portée. Ces conditions sont loin d'être remplies par les anciens fusils dits *de rempart*, du calibre de 16 balles à la livre, qu'on rencontre dans les magasins des directions d'artillerie. Ces armes sont d'une construction si défectueuse, qu'on ne peut s'en promettre aucun bon service. On dut donc diriger des recherches vers l'invention d'un nouveau modèle, mieux approprié aux effets qu'on voulait obtenir. En conséquence, on adressa d'abord aux Écoles d'artillerie et aux Manufactures d'ar-

mes un programme dans lequel furent posées diverses questions relatives à l'utilité, à la manœuvre, à la fabrication d'un fusil de rempart. Les mémoires envoyés en réponse à ce programme présentaient des considérations très-justes sur la manière d'employer cette arme et sur les effets qu'on pouvait en attendre. Mais leurs auteurs, n'étant pas éclairés par des épreuves suffisantes, ne purent donner, relativement au calibre, à la longueur du canon et au mécanisme du chargement, que des indications déduites du calcul avec sagacité ou ingénieusement conçues, mais qui ne parurent pas susceptibles d'une application immédiate. Les inventions que renferment les archives et le musée de l'artillerie se trouvent dans le même cas, ou même en général, restent beaucoup plus loin du but proposé. Dès lors il devenait évident que l'expérience seule pouvait conduire à ce but. On résolut donc de la suivre avec méthode, et l'on entreprit de déterminer successivement, par des épreuves spéciales, les parties principales du fusil de rempart.

On admit d'abord, comme première condition essentielle, que le fusil de rempart, pour répondre à sa destination, devait avoir une portée de 600 mètres et une grande justesse de tir. Cette condition dépendant principalement du canon, on commença par rechercher

les formes et les dimensions de cette pièce importante.

Tout en reconnaissant que la rayure de l'âme en hélice était propre à assurer au tir une plus grande justesse, on pensa qu'avant d'admettre cette disposition, il convenait de s'assurer si un canon lisse avec une balle forcée, c'est-à-dire, d'un diamètre égal à celui de l'âme, ne fournirait pas un tir suffisamment exact.

En conséquence, on fit fabriquer plusieurs canons lisses des calibres de 4, de 8 et de 12 balles au $\frac{1}{2}$ kilogramme, et de 1m,60 de longueur, dimension que les moyens ordinaires de fabrication ne permettent guère de dépasser. Ces canons furent tirés au moyen d'un appareil qui permettait de pointer avec régularité, et dégageait les résultats, de toutes les incertitudes dépendantes des tireurs. Cette première série d'épreuves fit reconnaître que le canon de 8 balles au $\frac{1}{2}$ kilogramme, de 1m,30 de longueur, et tirant à balle forcée avec une charge égale au tiers du poids de la balle, était celui qui remplissait la condition imposée, de la manière la plus satisfaisante.

Les principales dimensions du canon ainsi établies, on s'occupa du mode de chargement et du mécanisme qui devait y être appliqué. La grande longueur du canon et le tir à balle forcée firent regarder le chargement par la culasse

comme pouvant seul être admis. On examina un grand nombre de dispositions inventées dans ce système, les unes appartenant à des époques plus ou moins anciennes, les autres récemment présentées. On en essaya plusieurs, et on y introduisit successivement différentes modifications. Enfin on s'arrêta à deux mécanismes qui furent désignés par les noms de *fusil à coussinet et fusil à sous-garde tournante*, et qui se trouvent décrits dans le 2e. numéro du Mémorial, pag. 370 et suivantes; vingt-quatre fusils (douze de chacun de ces modèles) furent fabriqués, pour être répartis dans trois écoles d'artillerie et soumis à des épreuves comparatives; mais ces épreuves n'eurent pas lieu simultanément. On pensa qu'il était plus avantageux de les diviser, afin de pouvoir recueillir les premières indications de l'expérience, en profiter pour diriger ensuite l'attention sur les points les plus essentiels, introduire dans les modèles essayés des modifications jugées utiles, et soumettre ces modifications elles-mêmes à de nouvelles épreuves.

Dans cette intention, 8 fusils, 4 de chaque système, furent d'abord essayés comparativement dans une école. Les résultats de cette épreuve firent reconnaître dans ces armes des qualités très-avantageuses et en même temps deux défauts graves; l'incertitude du tir aux distances de 400 à 600 mètres, et la rapidité des

dégradations éprouvées par les parties qui établissent la jonction du tonnerre et du canon, ainsi que par le canal de la lumière. Dans le but de corriger le premier défaut, on dut revenir à l'idée de faire rayer l'âme des canons en hélice; et, afin d'avoir des notions plus positives sur la valeur de ce moyen, on fit exécuter deux formes de cannelures et quatre courbures différentes de l'hélice, avec inclinaison uniforme ou augmentant progressivement, soit à partir du tonnerre, soit à partir de la bouche. En même temps on introduisit, dans les formes et dans les dimensions de la partie conique du tonnerre et de l'évidement du canon, quelques modifications qui parurent propres à donner moins de prise à l'action destructive des gaz développés par la poudre enflammée. Enfin on disposa plusieurs fusils pour tirer avec des amorces fulminantes.

De nouvelles épreuves exécutées dans la même école constatèrent qu'en effet le carabinage du canon rendait le tir plus juste; elles firent connaître la forme de la rayure qui devait être préférée; elles fixèrent également les idées sur la charge de poudre et le diamètre de la balle qui convenaient avec les canons carabinés. Quant à l'emploi des amorces fulminantes, elles ne fournirent pas de renseignemens décisifs.

Deux autres écoles furent alors chargées de compléter les données nécessaires pour la déter-

mination du modèle définitif, en faisant des épreuves comparatives sur les fusils à canon lisse et à canon carabiné, à coussinet et à sous-garde tournante, avec platine à silex et avec platine percutante. Chacune d'elles reçut huit fusils présentant ces différens caractères, et un programme détaillé des opérations qu'elle avait à exécuter.

En résumant les résultats des épreuves des trois écoles, on rapportera d'abord les faits sur lesquels elles ont été unanimes, et qu'on peut regarder comme suffisamment constatés.

1°. Les nouvelles armes peuvent être employées avec beaucoup d'efficacité dans la défense des places.

2°. La condition fondamentale du chargement par la culasse n'a donné lieu à aucune objection; elle a été partout reconnue comme très-avantageuse, et même comme la seule admissible avec une arme de cette nature. Ce mode de chargement a donc été définitivement adopté.

3°. Le canon carabiné donne une justesse de tir supérieure à celle du canon lisse, à peu près dans le rapport de 3 à 2. Quoique ce degré de justesse ne réponde pas entièrement à l'espoir qu'on avait fondé sur le carabinage, il paraît suffisant cependant pour que l'arme puisse avoir une action très-efficace.

4°. La rayure de l'arme permet de réduire la charge de plus de moitié. Par-là la consomma-

tion de poudre est diminuée, les progrès des dégradations sont ralentis, la durée de l'arme est plus que doublée. Les inconvéniens du crachement et de l'encrassement sont évités ou considérablement diminués. Le recul n'a plus rien de pénible; et le tireur, délivré de cette appréhension, peut ajuster avec plus de soin.

5°. Les balles des canons carabinés pénètrent moins profondément dans les objets qu'elles frappent, que celles des canons lisses; cette différence de pénétration est très-faible, et plus que compensée par les avantages dus au carabinage, et rapportés ci-dessus.

Sur quelques autres points les opinions des commissions et les résultats des épreuves ne présentent pas le même accord.

La charge de *huit grammes*, jugée suffisante par deux écoles, a paru trop faible à la troisième. Cette dernière a proposé de la porter à *dix grammes*; mais on voit dans les procès verbaux d'épreuve, que la poudre qu'elle a employée a donné au mortier-éprouvette une portée plus faible, et qu'elle a produit dans les armes un encrassement plus considérable que celle des deux autres écoles. On peut en inférer que cette poudre était d'une qualité inférieure, et que c'est cette circonstance qui a déterminé la proposition d'augmenter la charge. D'après cette observation, on a regardé, avec les deux premières écoles, la charge

de huit grammes comme la plus convenable. Toutefois cette fixation n'a pas été prescrite d'une manière générale et rigoureuse ; et, comme les munitions des fusils de rempart n'ont pas besoin d'être confectionnées d'avance en grande quantité, on a seulement établi les limites de huit et de dix grammes, entre lesquelles la charge de ces armes pourra varier, suivant l'état des poudres et celui des fusils eux-mêmes, au moment où ils devront être employés.

Les munitions pour ces armes seront préparées sous la forme de cartouches ordinaires. Mais, la quantité de poudre étant très-faible, on a dû craindre que des variations, même légères, ne produisissent des différences sensibles dans les portées; et, pour prévenir au moins celles qui résulteraient de l'action d'amorcer, on a pensé qu'il serait à propos de ne mettre dans la cartouche que la quantité de poudre déterminée pour la charge, et de faire prendre l'amorce en dehors.

Quant à la manière dont s'effectue le chargement par la culasse, la disposition principale d'après laquelle le tonnerre se sépare du canon et présente sa tranche antérieure, n'a donné lieu à aucune observation; mais les deux mécanismes destinés à permettre les mouvemens du tonnerre et à le maintenir en place ont été diversement appréciés.

Deux écoles préfèrent le coussinet, et motivent cette préférence sur ce qu'il est plus simple, plus solide, plus facile à entretenir, plus capable de fournir un tir prolongé. La troisième se prononce pour la sous-garde tournante, et se plaint des difficultés fréquentes qui arrêtent ou retardent les mouvemens du coussinet. Mais les procès-verbaux de cette école n'expriment pas qu'il ait été fait usage de la vis placée sous la boite pour rétablir la coïncidence nécessaire, dans le cas où elle se trouverait dérangée; cette circonstance peut motiver l'opposition qui existe sur ce point entre cette école et les deux autres. D'ailleurs, aux motifs sur lesquels celles-ci appuient leur opinion, il faut ajouter encore que la fabrication du coussinet sera plus facile et moins coûteuse que celle de la sous-garde tournante. D'après ces considérations, le mécanisme à coussinet a été adopté.

Une question importante s'est présentée au sujet de la platine; il s'agissait du choix à faire entre le système à amorces fulminantes et le système à silex. On n'a pu trouver dans les résultats des épreuves aucune donnée assez positive pour prononcer avec assurance entre ces deux systèmes de platine; et, lorsque cette question, agitée depuis plusieurs années au sujet du fusil d'infanterie, n'a pu encore être décidée, quoique les avantages et les inconvéniens s'y

montrent avec toute leur importance, il paraît encore plus difficile de la résoudre pour le fusil de rempart, avec lequel les uns et les autres semblent s'atténuer également.

C'est donc sans rien préjuger sur cette question qu'on a conservé la platine à silex au fusil de rempart. Si, par suite des essais qui vont être entrepris, les amorces fulminantes sont adoptées, elles devront sans doute être employées avec cette arme comme avec les autres. Alors la fabrication se modifiera suivant le nouveau système sans aucune difficulté; et, en attendant, il ne peut y avoir d'inconvénient à l'établir dans le sytème actuel, parce que la manœuvre des fusils de rempart ne devant pas être soumise à l'ensemble et à l'uniformité, ceux qui porteront des platines à silex continueront à servir, concurremment avec ceux qui seraient disposés pour tirer avec des amorces fulminantes.

Les autres parties du fusil de rempart ont été déterminées de manière à satisfaire autant que possible aux conditions de solidité et de simplicité qui sont imposées à toute arme de guerre. Leur importance est trop secondaire pour qu'il soit utile d'entrer à leur égard dans des détails particuliers. L'exposé qui précède, et la description du mécanisme, insérée dans le numéro précédent du Mémorial, doivent donner une idée suffisante de cette arme nouvelle.

Tel qu'il est constitué, le fusil de rempart porte des balles de plein fouet à 600 mètres, sous des angles qui ne s'élèvent pas jusqu'à $3^\circ \frac{1}{2}$, et sous les mêmes angles, il donne fréquemment des portées totales de 1,000 à 1,200 mètres.

La justesse du tir est telle, qu'à 200 mètres on met plus des deux tiers des coups dans un but de 4 mètres de surface, et qu'à 400 mètres on en met encore 1 sur 8. Elle diminue sensiblement pour les distances plus considérables; mais cependant à 600 mètres elle peut encore assurer au feu une certaine efficacité.

Jusqu'à 600 mètres, les balles conservent assez de force pour traverser deux planches de sapin de $0^m,27$ d'épaisseur. Jusqu'à la distance de 300 mètres, elles traversent les saucissons, les sacs à terre, les gabions pleins et même les gabions farcis, lorsqu'elles ne les prennent pas dans la direction de leur plus grande épaisseur. Jusqu'à la même distance, elles traversent deux gabions vides.

La manœuvre du fusil de rempart est facile, exempte d'accidens et peu fatigante. Le tir a toute la promptitude désirable; il se prolonge au delà du nombre de coups qu'il est ordinairement nécessaire de tirer de suite, et peut être recommencé après des interruptions même de plusieurs heures, sans que l'arme ait été nettoyée.

Un seul homme suffit pour la manœuvre et le transport d'un fusil de rempart dans l'intérieur d'une place assiégée, avec les munitions, à raison de cinquante coups. Il peut être chargé de tous les soins nécessaires pour l'entretien de l'arme.

L'établissement des fusils de rempart sur les diverses parties de la fortification n'exige que des dispositions très-simples, consistant, en général, à planter sur la banquette ou à enfoncer dans les terres du parapet des piquets de $0^m,01$ d'équarrissage, d'une hauteur convenable, et dont la tête soit creusée dans la direction de l'axe, pour recevoir le pivot à charnière.

Enfin cette arme se prête avec beaucoup de facilité à toutes les conditions du service auquel elle est destinée. L'expérience de l'expédition d'Alger en a pleinement confirmé les avantages, et a fait voir que ces fusils n'étaient pas moins utiles dans la guerre de campagne et dans les siéges, que dans la défense des places.

Recherches relatives à la détermination des charges des armes portatives.

L'arme portative la plus répandue, la plus décisive dans les combats des peuples modernes, le fusil de l'infanterie augmenterait encore d'importance, si l'on parvenait à donner à l'exé-

cution du tir cette régularité qui atténue les chances du hasard, inspire de la confiance et promet des succès. Un puissant moyen est celui qui, améliorant l'éducation militaire du soldat, lui apprendrait à bien connaître, à soigner son arme, à estimer à vue les distances, à viser avec précision vers un but déterminé, et surtout à faire feu au moment opportun. Mais les améliorations du matériel des armes sont les seules qui soient du ressort de l'artillerie; et depuis plusieurs années elle s'en occupe avec persévérance.

Une des questions les plus importantes qui se rattachent à cet objet, est sans contredit la détermination de la charge la plus convenable pour les armes portatives. Aussi a-t-on, dès 1826, appelé sur cette question l'attention et les recherches des Officiers d'artillerie, en la proposant pour sujet de concours; et en 1828 des épreuves furent ordonnées, et une commission nommée pour les exécuter. Les travaux de cette commission avaient pour principal objet de déterminer l'espèce et la quantité de poudre qui doit entrer dans les cartouches du fusil d'infanterie, et de fournir des notions analogues pour la charge des autres armes portatives.

L'exposé qui suit va faire connaître l'ensemble des opérations de la commission, les conditions d'après lesquelles elles ont été dirigées et les résultats qu'elles ont produits.

Dispositions générales relatives à l'exécution des épreuves. — D'après le but qu'on avait en vue, les épreuves eurent lieu sur trois poudres différentes, savoir :

Poudre anguleuse fabriquée par les anciens procédés,

Poudre anguleuse fabriquée par les nouveaux procédés,

Poudre ronde.

Le tir a été exécuté successivement :

1°. Sur le pendule,

2°. Sur la cible au moyen d'un appareil,

3°. Par des hommes.

Pour le tir au pendule, on se servit de deux instrumens différens : dans l'un, l'arme elle-même est suspendue en guise de pendule, et l'étendue des oscillations sert à évaluer le recul; l'autre consiste en une masse de plomb suspendue, qui reçoit le choc de la balle; les arcs décrits par la masse donnent le moyen de calculer les vitesses initiales et d'établir leurs relations avec les portées. On a constamment trouvé beaucoup de régularité et de concordance dans les observations recueillies par ces deux modes d'épreuves.

La cible était un carré de deux mètres de côté, dont le centre était à la hauteur de la bouche du canon et dans la direction du tir. Un masque en planches, de 6 mètres de côté, était placé en arrière,

et donnait le moyen de reconnaître la position des coups qui manquaient la cible.

Dans l'appareil établi pour le tir à la cible, on distingue deux parties principales : un fort chevalet, dont les pieds sont solidement enfoncés dans le sol, et une poutrelle dans laquelle est encastré le canon de l'arme mise en expérience. Cette poutrelle repose sur le chevalet, maintenue dans toute sa longueur entre deux pièces de bois latérales, auxquelles elle est fixée par deux tourillons, de manière à pouvoir céder légèrement au recul, et se relever dans une position verticale pour que la charge soit mise dans le canon. Le corps du chevalet lui-même s'appuie, par sa partie antérieure, sur une vis de pointage, au moyen de laquelle on lui fait faire les mouvemens nécessaires pour prendre avec précision des angles de tir déterminés, à l'aide d'un quart de cercle garni d'un niveau à bulle d'air. La masse du système, et la disposition qui amortit le recul, préservent l'appareil de tout ébranlement. Ainsi le tir a pu être exécuté avec promptitude et régularité, et les effets, essentiellement dus à la nature des armes ou des charges, ont pu être reconnus et appréciés avec exactitude.

Le tir exécuté par des hommes dans la position ordinaire, avait pour objet principal de faire apprécier l'effet sensible du recul. Les armes char-

gées étaient remises aux tireurs, sans qu'ils connussent les charges qu'elles contenaient. Chacun tirait de suite avec les différentes charges, et l'on recueillait leurs observations sur la force de chaque recul.

Dans les épreuves de tir, on prit d'ailleurs toutes les précautions propres à conserver les charges et les armes comparées, dans des circonstances aussi égales que possible. Toutes les armes étaient neuves et choisies parmi celles dont le calibre approchait le plus du calibre moyen.

On fit usage des anciennes balles, de 20 à la livre, et de celles de 19, ou de 0m,0163 de diamètre. Toutes ces balles furent coulées dans le moule actuellement en service, et vérifiées une à une, au moyen de deux lunettes, l'une de réception, l'autre de rebut, différant entre elles de 0m,0005. On se servit, pour couper les jets, de la cisaille à charnière, qui opère la section suivant la forme sphérique de la balle.

Les charges de poudre furent pesées une à une avec beaucoup de soin. Les cartouches ne contenaient avec la balle que la charge, c'est-à-dire, la quantité de poudre qui devait se mettre dans le canon; l'amorce fut toujours prise en dehors. Ces cartouches furent confectionnées suivant les procédés, et avec les instrumens prescrits par les dernières instructions ministérielles sur cette matière.

Recherches relatives aux moyens d'obtenir des balles sans vide intérieur, et comparaison de ces balles avec les balles ordinaires. — Il existe, dans l'intérieur des balles coulées, un vide dont la formation paraît devoir être attribuée au retrait qu'éprouve la matière en se solidifiant, et au refroidissement plus prompt du jet et des parties de la balle voisines de la surface. Ce vide, en éloignant le centre de gravité du centre de figure, a-t-il une influence sensible sur la régularité du tir? Cette question, souvent débattue d'après des considérations théoriques, n'avait jamais été pratiquement résolue. Les appareils que la commission avait à sa disposition l'ayant mis à même de faire des expériences directes sur cet objet, elle crut devoir les entreprendre. On constata d'abord l'existence et la position du vide, en faisant couper un grand nombre de balles fournies par le moule en service. On chercha ensuite les moyens d'obtenir des balles sans vide. Les machines inventées pour former des balles par compression ne donnent pas des balles de poids uniforme et de forme parfaitement sphérique, et d'ailleurs ces machines, trop compliquées, trop dispendieuses, ne pouvant être employées dans toutes les circonstances du service, on chercha un moyen de coulage qui atténuât ou fît disparaître les causes de la formation du vide. On y parvint après plusieurs

tentatives, à l'aide d'un moule dont le jet avait peu de longueur et un grand diamètre, et dont les parties latérales étaient évidées, de manière qu'il ne restait qu'une faible épaisseur de métal autour du jet et de la partie supérieure de la balle. L'objet de cette disposition était de soustraire le plomb à l'action refroidissante des masses de métal qui l'entourent, et de le maintenir plus long-temps liquide dans le jet, afin qu'il pût suivre le retrait des parties voisines de la surface, à mesure qu'elles se solidifient, et empêcher ainsi la formatiou du vide.

Ce moule fournit des balles dans lesquelles on n'aperçut aucun vide, en les découpant dans tous les sens et en tranches très-minces. Il n'exige, d'ailleurs, aucune précaution particulière; mais il ne conserve pas une solidité suffisante. L'opération du coulage s'exécute lentement, à cause du temps nécessaire pour que le plomb se solidifie complétement.

Avant de faire de nouveaux essais, il parut convenable de s'assurer de l'influence réelle que l'existence ou la suppression du vide pouvait avoir sur la portée et la justesse du tir. A cet effet, on fit tirer comparativement 100 cartouches avec balles fournies par le moule en usage, et un pareil nombre avec balles fournies par le moule modifié.

Les unes et les autres avaient exactement le diamètre de. . . . . 0^{m},0163

On a trouvé que 100 balles sans vide pesaient. . . . . 2^{k},592

Et 100 balles ordinaires. . . . . . 2^{k},561

La différence moyenne entre le poids d'une balle sans vide et celui d'une balle ordinaire, est donc de 0^{k},0003; environ la 85e. partie du poids de la balle ordinaire.

Les cartouches, faites avec de la poudre de mousqueterie, à l'ancienne charge de 11^{gr},20, furent tirées sur le chevalet, dans des canons de fusils d'infanterie du modèle 1822, la cible placée à 150 mètres, l'axe du canon horizontal.

Le résultat de ces expériences établit une égalité presque entière entre les deux espèces de balles. La théorie n'en doit pas moins persister à reconnaître un certain avantage aux balles sans vide. Mais il paraît que cet avantage ne conserve que très-peu de valeur en présence des causes bien plus puissantes qui déterminent les variations du tir, telles que l'encrassement, le vent de la balle, l'altération que sa forme éprouve avant sa sortie du canon, la manière dont la poudre lui imprime l'impulsion. Si on ajoute à ces causes; qui sont inhérentes à la nature de l'arme, celles qui dépendent de l'habileté ou de l'inexpérience des tireurs, on doit

croire que l'avantage des balles sans vide intérieur disparaît entièrement dans le service.

On a donc pensé qu'il n'y avait aucun intérêt réel à chercher les moyens de remplacer, par des balles entièrement pleines, les balles qu'on obtient du moule actuellement en service, et que ce moule pouvait être regardé comme remplissant d'une manière satisfaisante toutes les conditions véritablement utiles.

Détermination de la charge du fusil d'infanterie et des autres armes portatives. — Des plaintes contre la violence du recul des fusils du nouveau modèle s'élevaient de toute part; la légitimité de ces plaintes était attestée par MM. les inspecteurs généraux d'infanterie, et tous émettaient l'opinion que la charge était devenue trop forte. Il y avait en effet des motifs très-plausibles pour attribuer à un excès dans la charge l'excès du recul. En examinant les améliorations introduites dans la fabrication des armes, dans celle de la poudre, et considérant que, nonobstant ces changemens, qui tendent tous à donner plus d'étendue à la portée, on avait conservé la même quantité de poudre pour la charge, il était facile de s'expliquer l'augmentation du recul. Dans ces circonstances, il devenait indispensable, 1°. de chercher à reconnaître parmi les diverses espèces de poudre en usage, celle qui était la plus convenable pour les

armes portatives; 2°. de régler la charge de manière à rendre le recul moins incommode. Toutefois on ne devait pas perdre de vue que la portée étant la qualité essentielle du fusil sur les champs de bataille, il importait de ne pas la réduire de manière à diminuer l'effet du feu d'infanterie. Le fusil, modèle 1777 corrigé, tiré avec la balle de vingt à la livre, et une charge de poudre à canon du quarantième de la livre, n'ayant donné lieu à aucune plainte pendant les longues guerres où il a été employé, ni pour la portée, ni pour le recul, il parut naturel de prendre les effets de cette arme pour termes de comparaison et pour limites de ceux que la nouvelle charge devait produire dans le fusil actuel. La détermination de la charge fut donc soumise à la condition de donner au modèle 1822, tiré avec la balle de $0^{m},0163$, une portée au moins égale à celle du fusil de 1777 corrigé, tiré avec l'ancienne balle et l'ancienne charge, et autant que possible de ne pas produire un recul plus fort.

Ainsi qu'on l'a déjà indiqué, trois espèces de poudre furent mises en comparaison, savoir :

La poudre de mousqueterie anguleuse fabriquée par les nouveaux procédés.

La poudre de mousqueterie anguleuse fabriquée par les anciens procédés.

La poudre à grains ronds, fabriquée par les nouveaux procédés.

On les désigne, pour abréger, sous les noms de poudre ancienne, poudre nouvelle et poudre ronde.

La poudre à canon, qui jusqu'en 1818 était également employée pour le tir du fusil, servit de terme de comparaison à ces trois espèces de poudre, et toutes furent soumises à l'analyse chimique et à un examen destiné à faire connaître toutes les propriétés physiques qui les caractérisent.

La comparaison des effets de ces poudres commença par le tir au pendule. La régularité des résultats observés au moyen de cet appareil, permit de borner cette première épreuve à 50 coups environ pour chaque espèce de poudre.

Les charges dont l'effet se trouvait le plus rapproché de celui de l'ancienne charge, et dont le recul était le moins fort, furent ensuite essayées au tir à la cible sur le chevalet. Dans cette seconde épreuve, la portée produite par chaque charge était évaluée par l'angle de tir nécessaire pour porter la balle à une certaine distance. On ne tarda pas à reconnaître que les charges essayées avaient besoin d'être augmentées, et le calcul établi sur les résultats du tir au pendule avait déjà donné une indication dans le même sens, en montrant que la balle de 0m,0163, produisant, avec l'une des charges comparées, le même effet que la balle de 20 à la livre avec



l'ancienne charge, avait moins de vitesse initiale que cette dernière.

En continuant le tir à la cible sur le chevalet, aux distances de 150, de 200 et de 300 mètres, on détermina les charges des différentes poudres capables de donner au fusil modèle 1822, tirant une balle de 0^{m},0163, une portée au moins égale à celle du fusil modèle 1777 corrigé, chargé avec l'ancienne cartouche. Alors on les compara sous le rapport du recul, par le tir à l'épaule.

Il fournit d'abord un résultat général qui doit être remarqué. Les tireurs déclarèrent, presque sans exception, que les reculs, même les plus forts, ne les incommodaient pas trop, et que celui de l'ancienne charge en particulier leur paraissait très-supportable. Plusieurs tirèrent dans la même séance jusqu'à 50 coups de fusil sans en être fatigués et sans cesser de viser avec assez de justesse. D'après ce résultat, il est permis de penser que les plaintes si souvent renouvelées contre la violence du recul sont dues, au moins en partie, à ce que les soldats n'épaulent pas avec assez de soin. On doit cependant reconnaître que cet effet peut aussi être attribué à ce que depuis que la poudre de mousqueterie est affectée aux petites armes, les cartouches ont continué à en recevoir la même quantité, que quand elles étaient composées de poudre à canon. Relativement à l'objet spécial pour

lequel elle était entreprise, cette épreuve fit connaître la quantité de chaque espèce de poudre qui ne pouvait pas être dépassée, sans que le recul ne devînt plus fort que celui de l'ancienne charge.

Ces deux genres de tir à la cible furent répétés plusieurs fois, et les observations directes qu'ils fournirent se trouvèrent encore d'accord avec de nouveaux essais faits au pendule, et avec les indications déduites du calcul. Ces différentes opérations établirent comme résultat principal les faits suivans :

Pour donner à la balle de 0m,0163, dans le fusil modèle 1822, une portée qui dépasse un peu celle de la balle de 20 à la livre, tirée dans un fusil modèle 1777 corrigé, avec une charge de 11gr.,20 de poudre à canon, il faut 9 grammes de poudre anguleuse nouvelle, 9 grammes de poudre anguleuse ancienne, 10gr.,20 de poudre ronde. 10gr.,20 de poudre ronde et 9 grammes de poudre anguleuse nouvelle, produisent un recul au moins égal à celui de l'ancienne charge. A la charge de 9 grammes et même de 9gr.,50, la poudre ancienne donne un recul sensiblement moins fort que celui de l'ancienne charge ; ce n'est qu'à 10 gr. qu'elle dépasse ou atteint cette limite.

Il importait d'avoir quelques notions précises sur l'influence que pouvait avoir sur les dégradations de l'arme, l'espèce de poudre ou l'augmen-

tation du diamètre de la balle. En conséquence, on dirigea sur ce point quelques recherches spéciales, et on fit tirer simultanément dans des fusils du modèle 1822 :

La poudre ancienne à la charge de	9 gr.,50	avec la balle de 0m,0163.
——— nouvelle ———	9 ,50	
——— ronde ———	10 ,20	
L'ancienne charge de poudre de guerre.	11 ,20	avec la balle de 20 à la livre.
——— *Id.* ———		avec la balle de 0m,0163.

Quatre fusils neufs furent affectés à chaque charge, et après trois cents coups tirés par fusil, on fit une vérification détaillée de ces armes. On trouva autour de l'ouverture intérieure des lumières, des stries et des affouillemens tendant à en augmenter le diamètre, mais dont la profondeur était trop faible pour être mesurée. Ces commencemens de dégradations se montrant également dans tous les fusils qui avaient tiré avec les différentes charges, on en put conclure que, sous ce rapport, il n'y avait pas de différence sensible entre les actions des poudres comparées, ni entre les effets des deux balles. On reconnut en même temps que l'encrassement était à peu près le même avec les différentes poudres, et qu'il n'avait rien de trop fâcheux, puisque dans une des séances employées à cette épreuve, tous les fusils purent tirer chacun cent vingt coups de

suite, sans faire éprouver de difficulté pour l'introduction de la cartouche.

C'est d'après les faits qui viennent d'être exposés, et d'après quelques autres considérations tirées des conditions du service, que la commission dut déterminer son choix entre les trois espèces de poudre de mousqueterie soumises aux épreuves.

La poudre ronde eut un désavantage marqué et pour la portée et pour le recul, puisqu'il fallut 10 grammes 20 de cette poudre pour ne pas rester au-dessous de la portée demandée, et que cette quantité de 10 grammes 20 produisit un recul au moins aussi fort que celui de l'ancienne charge; tandis que 9 grammes des deux autres poudres dépassèrent la limite de la portée, sans dépasser celle du recul, ou même en restant au-dessous. De plus, la forme ronde de son grain, et l'espèce de fluidité qui en résulte, parurent de nature à occasioner un autre effet fâcheux, en mettant le soldat dans le cas de laisser écouler et de perdre une partie de la charge, au moment où il amorce son arme, circonstance qui tendrait à diminuer la portée et à augmenter l'incertitude du tir. Ces faits et ces observations firent regarder la poudre ronde, comme la moins propre à être employée avec les armes portatives.

Les épreuves n'ayant pas montré de différences tranchées entre les poudres anguleuses ancienne

et nouvelle, on dut prendre en considération l'état actuel des approvisionnemens presque entièrement formés de poudre ancienne, et le système de fabrication établi dans le plus grand nombre des poudreries pour en fournir de semblable, enfin la connaissance acquise par une longue expérience des effets de cette poudre et dans les bouches à feu de l'artillerie et dans les armes portatives. D'après tous ces motifs, on jugea que la poudre de mousqueterie anguleuse, fabriquée par les anciens procédés, devait être préférée pour le service des armes portatives, jusqu'à ce que les expériences spéciales qui vont être entreprises aient fourni des données plus positives sur la nature des poudres fabriquées par les anciens et par les nouveaux procédés.

La question se trouvant résolue dans ce point principal, on n'aura plus à parler que de cette espèce de poudre dans la partie des recherches dont il reste à rendre compte. On continuera toujours à la désigner par le nom de poudre ancienne.

Les épreuves qui ont servi à fixer le choix de la poudre, ont fourni toutes les données nécessaires pour régler la quantité de cette poudre qui devait composer la charge d'un fusil d'infanterie. Les charges de 9 grammes et de $9^{gr.},50$ ont dépassé l'une et l'autre la limite fixée pour la portée. Sous le rapport du recul, l'une et l'autre

restent sensiblement au-dessous de la limite, et présentent peu de différence. Ces deux charges se trouvaient donc indiquées par les épreuves, comme satisfaisant aux conditions prescrites, avec un avantage à peu près égal. La charge de 9 grammes aurait procuré une économie un peu plus importante; augmentée de 1 gramme pour l'amorce, elle aurait donné 10 grammes à mettre dans la cartouche, fixation qui se serait prêtée à une division exacte et facile du kilogramme. Mais on a considéré que d'après le tir à la cible et d'après les indications déduites par le calcul du tir au pendule, la charge de 9 grammes ne pouvait pas être diminuée d'une manière notable sans faire descendre la portée au-dessous de la limite fixée, et on a dû prévoir dans le service des circonstances faites pour produire cette diminution, telles que l'altération de la poudre ou la déperdition d'une partie de la charge. D'après cette considération, on a pensé qu'il était convenable d'adopter la charge de 9$^{gr.}$,50. En ajoutant un gramme pour l'amorce, on a fixé à 10$^{gr.}$,50 la quantité de poudre à mettre dans la cartouche. De cette manière, le kilogramme fournit 95 cartouches. Cette fixation est commune aux deux fusils d'infanterie et de voltigeurs.

Les fixations analogues pour les fusils d'artillerie et pour les mousquetons ont été soumises à ces deux conditions : 1°. de ne pas dépasser

le recul du fusil d'infanterie à la charge de $9^{gr}.50$; 2°. de donner pour la cartouche une quantité de poudre qui fût dans un rapport facile à saisir avec celle que contient la cartouche d'infanterie, afin de donner aux soldats le moyen d'opérer avec facilité et avec une certaine précision, sur les cartouches d'infanterie, la réduction convenable pour les faire servir dans les autres armes. On s'est appliqué aussi à déterminer la charge propre au pistolet de cavalerie. Mais sous le rapport du recul, cette dernière charge n'a pu être réglée que d'après les impressions reçues par la main des tireurs, et sans terme de comparaison pris dans les effets d'une autre arme.

D'après les résultats des épreuves exécutées dans ce sens, la charge de $6^{gr}.,90$ a été adoptée pour le fusil d'artillerie. Cette charge, augmentée de 1 gramme, porte la quantité de poudre à mettre dans la cartouche à $7^{gr}.,90$; les trois quarts de ce que contient la cartouche d'infanterie.

Avec les mousquetons, la même charge de $6^{gr}.,90$ a encore donné un recul moins fort que celui du fusil d'infanterie, mais la charge de $4^{gr}.,25$ ayant fourni une portée assez étendue, en raison de la destination de ces armes, et cette dernière charge ayant aussi été reconnue convenable pour le pistolet de cavalerie, il a paru plus avantageux de l'adopter. De cette manière il n'y

a qu'une seule charge pour les armes de la cavalerie, et les cavaliers ne sont pas obligés d'opérer des diminutions différentes dans la cartouche d'infanterie, pour s'en servir avec leur mousqueton ou avec leurs pistolets. La quantité de poudre de la cartouche pour les mousquetons et les pistolets a donc été fixée, y compris l'amorce, à 5gr.,25 ; la moitié de ce que contient la cartouche d'infanterie.

Quelques essais faits au pendule ont donné des résultats conformes aux observations d'après lesquelles ces différentes charges ont été réglées, et un accord très-satisfaisant s'est encore montré entre les deux modes d'expérience.

La charge du pistolet de gendarmerie a été déterminée d'après une autre condition. Comme dans aucun cas les cartouches d'infanterie ne peuvent servir avec le pistolet, puisque son calibre est plus petit que le diamètre de leur balle, il n'y avait aucun intérêt à conserver un rapport quelconque entre sa charge et la quantité de poudre de ces cartouches, et il a paru plus convenable de s'attacher à une division facile du kilogramme. L'amorce pouvant être évaluée à 0 gr. 35, des charges de 1 gr. 65 et 2 gr. 15 ont été essayées. L'une et l'autre n'ont donné que des reculs très-supportables ; mais la première a paru préférable comme donnant, avec le recul le plus faible, un effet encore suffisant, puisque



des balles lancées par cette charge, à la distance de 15 mètres, ont traversé jusqu'à deux planches de sapin formant une épaisseur de $0^m,054$.

Les charges des différentes armes et la composition de leurs cartouches sont réunies dans le tableau suivant :

	Quantité de poudre composant la charge.	Quantité de poudre à mettre dans la cartouche.	Rapport avec la quantité de poudre de la cartouche d'infant.	Nombre de cartouches fournies par le kilogramme.
	gram.	gram.		
Fusils d'infanterie et de voltigeurs.	9,50	10,50	»	95
Fusil d'artillerie.	6,90	7,90	$\frac{3}{4}$	126
Mousqueton de gendarmerie. . . .				
——— de cavalerie.	4,25	5,25	$\frac{1}{2}$	190
Pistolet de cavalerie.				
——— de gendarmerie.	1,65	2,00	»	500

En établissant ces fixations, on n'a pas admis qu'il pût y avoir pour la guerre des cartouches différentes pour les différentes armes. Sur cette question, on pense que l'existence de plusieurs espèces de cartouches dans les approvisionnemens d'une armée pourrait entraîner de graves inconvéniens, et qu'il ne doit s'y trouver uniquement que des cartouches d'infanterie. Mais on n'a pu voir que de l'avantage à ce que, pour les exercices, la cartouche de chaque arme fût composée de la quantité de poudre qui lui convient. Cette disposition peut procurer une certaine

économie dans la consommation de la poudre; mais elle a surtout paru utile, parce qu'elle met le soldat dans le cas d'acquérir une connaissance plus précise de la charge qui convient à son arme, et d'opérer avec plus d'exactitude, sur la cartouche du fusil d'infanterie, la réduction convenable. Ces fixations ne doivent donc être observées que pour les cartouches d'exercice.

La quantité de poudre composant la charge du fusil d'infanterie se trouvant réduite de 11 gr. 20 à 9 gr. 50, à peu près dans le rapport de 100 à 84, on a voulu connaître la part qui pouvait être attribuée, dans cette diminution, d'un côté à la qualité même de la poudre, de l'autre à l'augmentation du diamètre de la balle. Quelques essais faits au moyen du pendule ont montré : 1°. qu'avec la balle de 20 à la livre, il fallait 10gr.,50 de poudre ancienne, pour produire le même effet que l'ancienne charge; 2°. qu'avec la balle de 0m,0163, 10 grammes d'ancienne poudre à canon donnaient le même effet que 9gr.,50 de poudre de mousqueterie. Ainsi la qualité de la poudre n'a fait obtenir que la réduction de 11gr.,20 à 10gr.,50; la seule augmentation de la balle a permis de réduire l'ancienne charge de 11gr.,20 à 10 grammes; et, dans les 16 pour cent de diminution obtenue, il faut en attribuer 11 à la nouvelle balle, et 5 seulement à la nouvelle poudre. D'après ce ré-

sultat, les cartouches qui pourront être confectionnées avec des balles de 20 à la livre et de la poudre à mousqueterie devront, en conservant les rapports établis, contenir :

Pour fusils d'inf. et de volt.	11 gr.,50 de poudre	(env. 86 au kil.)
———— d'art. ————	8 ,63 ————	(— 114 *id.*)
—— mousq. et pist. de cav.	5 ,75 ————	(— 173 *id.*)

On a aussi comparé, par le tir au pendule, la poudre de mousqueterie avec les poudres de chasse les plus estimées. Ces dernières n'ont eu, sous le rapport de l'effet, qu'une supériorité peu considérable, et représentée à peu près par le rapport de 20 à 19. Leur recul s'est trouvé aussi plus fort dans la même proportion. D'ailleurs, la finesse de leurs grains occasionerait un effet très-fâcheux. Lorsque le canon serait enduit d'une couche humide par l'encrassement, une portion notable de la poudre y resterait attachée, et il n'arriverait au fond de l'âme qu'une charge incomplète. D'un autre côté, il est important qu'il n'y ait pas une différence trop marquée entre la poudre à canon et la poudre de mousqueterie, afin qu'elles puissent se remplacer mutuellement au besoin, et que les poudreries puissent également fournir l'une ou l'autre, selon les exigeances du service. Ces observations, jointes à la dépense et à la difficulté de la fabrication, ne permettent pas de proposer l'emploi des

poudres de chasse avec les armes de guerre, et montrent en même temps qu'il n'y a pas lieu de le regretter, puisque ces poudres n'auraient aucun avantage sur la poudre de mousqueterie, sous les rapports les plus essentiels.

Le résultat de ces épreuves, comme le témoignage d'un long usage, a établi que le recul de l'ancienne charge n'est pas de nature à incommoder les tireurs, et on a vu que le recul de la nouvelle charge est encore sensiblement moins fort. On doit donc espérer que les plaintes à ce sujet ne se reproduiront plus, et l'on peut penser que le but de ces recherches a été atteint d'une manière satisfaisante.

Essais relatifs aux armes percutantes.

Les avantages qui sont généralement attribués aux amorces fulminantes sont : la rapidité de l'inflammation de la charge, la diminution du nombre de ratés, la possibilité de faire feu par tous les temps, le rétrécissement du canal de lumière, l'augmentation de l'effet produit, et par suite la diminution de la quantité de poudre nécessaire. Le désir de se procurer ces avantages a engagé depuis long-temps à faire de nombreux essais sur la fabrication de cette espèce d'armes.

Les premières amorces fulminantes furent faites, en 1786, de chlorate de potasse. Elles

étaient dangereuses à fabriquer ainsi qu'à transporter, et corrodaient les platines et les canons. Inadmissibles pour les armes de guerre, elles obtinrent peu de succès pour la chasse. Différentes espèces d'amorces faites avec du fulminate de mercure furent ensuite successivement présentées. Les chasseurs ont depuis quelques années généralement adopté les capsules à *mercure fulminant d'Howard.*

La proposition d'étendre aux armes de guerre l'emploi des amorces fulminantes a déjà été faite plusieurs fois; mais les dangers que présentaient dans l'origine leur fabrication et leur transport, ainsi que les difficultés inhérentes à leur emploi, avaient déterminé à ajourner toute détermination à cet égard, jusqu'à ce que les recherches et les expériences entreprises par la direction générale des poudres, sur les amorces fulminantes, eussent fixé l'opinion sur les inconvéniens et les dangers que pouvaient présenter leur fabrication, leur transport et leur emploi. Il est, du reste, à remarquer que la prudence a dicté la même conduite à l'Artillerie chez toutes les puissances, puisque aucun grand état n'a jusqu'à ce jour adopté l'usage des amorces fulminantes pour les armes de guerre.

Une commission mixte d'officiers généraux d'infanterie, de cavalerie et d'artillerie, formée en 1826, fut spécialement chargée de rechercher

les moyens de remplacer les platines à silex par les platines à percussion, et d'examiner les avantages et les inconvéniens de cette espèce de platine pour les armes entre les mains des troupes. Cette commission, dont les travaux ne se terminèrent qu'en 1829, émit l'opinion que les nombreuses tentatives faites à cet égard, depuis plusieurs années, avaient enfin amené au terme désiré et permettaient de faire un choix entre les différentes espèces d'amorces. Après avoir rejeté la poudre ou les boulettes fulminantes, comme dangereuses dans les transports, encrassant les armes et nécessitant des réservoirs fixes ou à la main, les premiers, d'un mauvais usage pour la troupe, tant à cause de leur complication que du peu de certitude de leur usage; les seconds, embarrassans pour le soldat; elle donna la préférence aux capsules de *muriate fulminant d'Howard.*

Il restait une grande difficulté à surmonter; c'était de trouver une manière convenable de placer ces amorces sur la cheminée. La commission reconnut que par le froid, dans l'obscurité et dans l'agitation du combat, les soldats ne pourraient placer les capsules à la main; aucun des différens modèles de réservoirs portatifs qui lui furent présentés en grand nombre, ne lui parurent, d'ailleurs, susceptibles d'être admis.

Enfin la proposition de fixer la capsule à la

cartouche, suivant un mode de confection particulier, ayant été faite à la commission, de premiers essais entrepris sur cette invention présentèrent des résultats assez avantageux pour faire penser qu'il pourrait être utile de les renouveler plus en grand; mais auparavant il convenait d'examiner la disposition proposée sous ses différens points de vue, tels que la facilité des approvisionnemens, la sécurité dans la fabrication et le transport, et la dépense qu'elle occasionerait.

Relativement à la première question, la commission annonce, dans son rapport, que l'approvisionnement ne sera jamais au-dessous des ressources du commerce. Il résulte en effet des calculs les plus positifs, qu'en supposant qu'un changement fondamental aussi important que l'adoption des amorces fulminantes, soit admis par toutes les puissances de l'Europe, en faisant entrer dans le calcul les prévisions de l'état de guerre le plus actif et la consommation présumée pour la chasse, la consommation totale de mercure pour toute l'Europe ne sera pas la centième partie de l'extraction; qu'en France, en particulier, la consommation annuelle en temps de guerre sera à peine le $\frac{1}{50}$ des importations, et que par conséquent il sera toujours facile d'en être pourvu, sans qu'il soit même nécessaire de former à l'avance de grands approvisionnemens.

La seconde question à examiner est celle du plus ou moins de danger que peuvent offrir la fabrication et le transport des capsules fulminantes.

Relativement au transport, les envois qui en sont faits journellement de Paris aux extrémités de la France, par toutes les voitures, constatent suffisamment le peu de danger qu'offrirait le transport par l'artillerie. Aucun accident n'a encore eu lieu dans les envois du commerce, pour lesquels on ne prend aucune des précautions en usage dans l'artillerie pour la poudre ordinaire.

Désirant d'ailleurs s'assurer directement que le transport des cartouches portant ces capsules pouvait également s'effectuer sans inconvénient, on fit parcourir 10 myriamètres (25 lieues) à des caissons, dans lesquels elles avaient été à dessein mal placées; il n'arriva aucun accident, quoique les cartouches fussent en partie démolies, les capsules séparées de ces cartouches et au milieu de la poudre.

La fabrication des capsules est loin de présenter la même sécurité. De nombreux accidens ont trop prouvé les dangers qui accompagnent les manipulations d'un agent si actif. Cependant les modifications apportées dans les procédés de fabrication sont arrivées à un point qui permet de la faire exécuter dans les poudreries. Telle est

du moins l'opinion consignée dans un rapport de la direction générale des poudres.

Sous le rapport de la dépense, il résulte également des calculs approximatifs que l'on a faits à cet égard, que l'augmentation de main-d'œuvre de la cartouche et le prix de la capsule, seront à peu près couverts par l'économie sur la quantité de poudre et par la suppression des pierres à feu, et que d'un autre côté le prix des armes ne sera pas sensiblement altéré par les modifications qu'il sera nécessaire d'apporter à la platine et au tonnerre.

Les amorces fulminantes étant ainsi reconnues admissibles sous les divers rapports de la possibilité de se procurer le mercure nécessaire, du peu de danger de leur préparation et de leur transport, du peu d'augmentation de dépense qu'elles occasionent, et l'expérience seule pouvant servir de guide dans une question de cette importance, on fit fabriquer trois cents fusils à percussion, destinés à être mis en essai dans six régimens d'infanterie. Ces fusils y resteront en service pendant un an, et tireront chacun 2000 coups. Ces dispositions permettront d'arrêter définitivement les idées sur le plus ou moins de facilité que présente le mode d'amorcer mis en expérience, sur les modifications dont il peut être susceptible, enfin sur la convenance de l'emploi des amorces fulminantes pour les armes de guerre.

4°. POUDRES DE GUERRE.

Essais comparatifs des poudres fabriquées par les anciens et les nouveaux procédés.

Peu de temps après le rétablissement de la paix continentale, une opinion défavorable aux poudres de chasse françaises s'était accréditée dans le public. On les croyait inférieures en force aux poudres de certaines puissances étrangères, et surtout à celles qui provenaient des fabriques de Berne et de l'Angleterre. Un commerce de contrebande, conséquence de cette dépréciation, s'était établi et réduisait beaucoup, annulait même, dans plusieurs parties de la France, la consommation des poudres de chasse. Il devenait urgent de dissiper cette prévention, si elle était mal fondée, de rechercher et de faire cesser les causes de cette infériorité si elle était réelle. Un objet qui affectait si directement les revenus de l'état devait attirer l'attention de la direction générale des poudres, et depuis sa création, en 1817, elle n'a cessé de s'occuper de l'amélioration des poudres, et en premier lieu de celles de chasse. Elle s'entoura de tous les renseignemens propres à éclairer la question, et à diriger les essais de perfectionnement. Ses travaux furent suivis d'un plein succès. On introduisit dans la fabrication des procédés nouveaux et des machines nouvelles. Ainsi confectionnée,

la poudre de chasse acquit bientôt une supériorité incontestable, qui la fait aujourd'hui rechercher par toutes les classes de consommateurs.

La partie de la question des poudres qui intéressait directement les finances de l'état était ainsi complétement résolue. L'autre partie, celle des poudres de guerre, restait intacte. Quoique dans nos dernières campagnes aucune plainte fondée ne se fût élevée contre ces poudres, on croyait cependant assez généralement qu'elles ne soutenaient pas la comparaison avec quelques poudres étrangères. On devait donc chercher à les améliorer, et il était naturel de penser que les mêmes moyens qui avaient rendu plus fortes les poudres de chasse, produiraient le même effet sur la poudre à canon. Trois poudreries reçurent en conséquence l'ordre de fabriquer la poudre à canon d'après les nouveaux procédés. On sait qu'ils consistent à triturer et à mélanger les matières dans des tonnes auxquelles on imprime un mouvement de rotation, et à les soumettre ensuite, convenablement humectées, à l'action de la presse hydraulique. Le charbon y est distillé en vaisseaux clos, ce qui, donnant la faculté d'arrêter la carbonisation au degré que l'on juge convenable, permet l'emploi du charbon peu calciné, dit *charbon roux*, qui est plus inflammable que le *charbon noir*. Les neuf autres poudreries continuèrent à fabriquer les pou-

dres de guerre par l'ancien procédé des pilons, et avec du charbon carbonisé en plein air, soit dans des chaudières, soit dans des fosses; seulement ces établissemens reçurent tous une presse hydraulique, pour la réduction des poussiers en galettes.

Les promptes détériorations survenues à plusieurs pièces de campagne, tirées en 1827 dans une École avec les nouvelles poudres, firent naître quelques doutes sur les qualités de ces poudres, relativement à la conservation des bouches à feu; des épreuves directes, faites tant par l'artillerie de terre que par l'artillerie de la marine, constatèrent qu'elles produisaient en effet dans l'âme des pièces des dégradations rapides, que l'on crut devoir attribuer à l'instantanéité de leur inflammation. Dans cette circonstance, la prudence commandait d'en suspendre la fabrication. Il fut en conséquence arrêté que les poudreries, où l'on employait exclusivement les machines et les procédés nouveaux, cesseraient momentanément de fabriquer des poudres de guerre, et que cette espèce de poudre continuerait à être faite par les anciens procédés, dans les autres poudreries.

Mais cette mesure ne pouvait être que provisoire. La division des poudreries en établissemens destinés à la fabrication des poudres de guerre, et en poudreries où se fabriqueraient

uniquement des poudres de chasse et de commerce, ne pouvait se prolonger sans de graves inconvéniens, tant sous le rapport du service que sous celui de l'économie. D'un autre côté, devait-on revenir exclusivement aux anciens procédés? Devait-on détruire sans autre examen les machines nouvelles, rétablir partout les pilons, et, renonçant à toute idée de perfectionnement, à toute espérance de progrès, s'en tenir aux anciennes poudres? On ne l'a pas pensé, et l'on a cherché les moyens de concilier des intérêts si importans.

Les résultats des expériences faites dans ce but ont fait reconnaître qu'en cherchant à augmenter la force de la poudre, on avait développé ses propriétés nuisibles dans un plus grand rapport que ses effets utiles; car les poudres qui exercèrent sur les bouches à feu l'effet le plus destructeur, n'eurent pas sur les autres un avantage extrêmement marqué, sous le rapport de la vitesse initiale imprimée au projectile. Pour se rendre compte de cette différence dans les effets produits, il suffit de se rappeler que pendant que le projectile parcourt l'âme, il éprouve à chaque instant une nouvelle pression; on n'a aucun moyen de connaître ni l'intensité de ces pressions, ni la durée de leur action; mais on peut mesurer leur somme, par la vitesse dont le projectile est animé au moment où il quitte

l'âme. Le fluide en se développant agit en même temps contre les parois de la pièce. Les pressions qu'il exerce contre le boulet n'agissent qu'en vertu de la différence de la vitesse d'expansion des gaz et de la vitesse de ce boulet, tandis qu'elles ont lieu avec toute leur intensité contre les parois de la bouche à feu. Or, cette intensité pour chaque charge étant en raison directe des quantités de poudre enflammée et en raison inverse des espaces en arrière des boulets, il s'en suit qu'une plus grande inflammabilité augmentera cette intensité et par suite les dégradations de la pièce, tandis que la vitesse initiale du projectile, que nous avons vu être la résultante de la somme de ces pressions, ne croît pas nécessairement dans la même proportion, d'autant qu'il lui faut toujours un certain temps pour passer de l'état de repos à la vitesse qu'il est susceptible de prendre.

C'est donc à la rapidité de l'inflammation des poudres que l'on peut attribuer leurs effets destructeurs. C'est cette rapidité d'inflammation qui leur donne quelque analogie avec les poudres fulminantes, et l'on sait que cette espèce de poudre, qui détruit si promptement les pièces, n'imprime pas au projectile de grandes portées.

Ces principes admis, il ne restait plus qu'à rechercher les causes qui peuvent donner aux poudres nouvelles l'inflammabilité trop grande

qu'on leur reproche. Cette propriété ne paraît pouvoir être attribuée qu'à l'emploi du charbon peu distillé, et par conséquent très-hydrogéné, à l'extrême division des matières triturées dans les tonnes, à une densité trop faible, ou enfin à ce que l'eau qui, dans les anciens procédés de fabrication, entrait dans presque toutes les séries d'opérations, n'entre qu'en très-petite quantité dans les nouveaux procédés.

Il est certain qu'un faible degré de carbonisation augmente beaucoup l'inflammabilité du charbon. Mais il est au moins douteux que le mode de distillation à vaisseaux clos ait la même influence sur la nature des produits; ce procédé de carbonisation est d'ailleurs plus économique, et donne des résultats plus constans que celui des chaudières et des fosses. Quant à la pulvérisation, elle se fait dans les tonnes d'une manière plus régulière, plus simple et plus facile que dans les pilons; et si l'on craint que l'extrême ténuité des matières obtenue par ce procédé ne rende la poudre trop inflammable, on est toujours maître de modérer cette ténuité, en diminuant le temps de la trituration et le poids des gobilles.

Les tonnes de trituration ne donnant pas le moyen de comprimer les matières et de les réduire en galettes, exigent l'emploi simultané de la presse hydraulique. Cette machine offre le

grand avantage de permettre de donner à la galette une densité uniforme, et que l'on peut régler à volonté, résultat qu'il est impossible d'obtenir au moyen des pilons. Cette propriété de la presse hydraulique est d'autant plus précieuse, que, de toutes les qualités de la poudre, celle qui influe le plus sur la promptitude de son inflammation, est évidemment la densité ou la dureté des grains, combinée avec leur grosseur.

Il semblerait résulter de ce qui précède, que, sans faire aucun changement aux machines nouvelles, on pourrait y fabriquer de bonnes poudres de guerre aussi inoffensives que les poudres faites au pilon, et que l'on y parviendrait, en employant du charbon distillé à un degré plus élevé de carbonisation; en pulvérisant, au degré convenable, le salpêtre, le soufre et le charbon dans les tonnes de trituration; et en donnant au mélange, au moyen de la presse hydraulique, la densité reconnue la plus avantageuse.

Mais si le raisonnement paraît indiquer que l'emploi de ces procédés doit amener à de bons résultats, on doit reconnaître en même temps combien il est essentiel de faire confirmer ces présomptions par des expériences directes et authentiques. C'est surtout lorsqu'il s'agit d'un agent aussi important que la poudre, d'un agent dont les qualités pernicieuses peuvent avoir des résultats si désastreux, d'un agent soumis à tant

de causes de variations difficiles à saisir, à apprécier, que l'on doit agir avec la plus grande circonspection ; se tenir en garde contre l'influence des opinions particulières, quelque poids qu'elles puissent avoir, contre une confiance aveugle en quelques points de théorie, quelque spécieuse qu'elle puisse être, contre les résultats même d'essais faits en petit, et que l'on ne doit marcher qu'environné des lumières de l'expérience.

En conséquence il a été résolu de faire fabriquer, par chacune des poudreries qui emploient les nouveaux procédés, 2000 kilogrammes de poudre à canon, au moyen des tonnes et de la presse hydraulique, en se conformant aux indications ci-dessus ; de faire en même temps fabriquer par trois autres poudreries 2000 kilogrammes de poudre à canon, au moyen des pilons et avec du charbon brûlé dans des vases ouverts, en cherchant à rendre ces deux espèces de poudre aussi identiques que possible, surtout sous le rapport de la densité et de la grosseur du grain ; et enfin de faire éprouver ces poudres comparativement, dans le double but de reconnaître quelles sont celles qui impriment le plus de vitesse initiale au projectile, et quelles sont celles qui sont le plus susceptibles de détériorer les bouches à feu en bronze. La première de ces propriétés serait constatée au moyen du pendule balistique à canon, et la seconde par le tir suffisamment pro-

longé d'un certain nombre de bouches à feu. Ces diverses dispositions sont maintenant en cours d'exécution.

5°. PONTS MILITAIRES.

Nouveau haquet et essais d'un système de ponts d'avant-garde.

Par suite de nombreux essais entrepris pour améliorer le matériel des équipages de ponts, dont l'expérience des dernières guerres avait fait ressortir les défauts, un nouvel équipage avait été établi en 1822; mais l'adoption du nouveau système d'artillerie de campagne nécessitait quelques changemens dans la construction du haquet, afin de la mettre en harmonie avec celle des autres voitures d'artillerie. On s'est occupé de ces modifications. On a donné au haquet la roue de derrière des voitures de campagne, et la roue de devant du chariot de parc. La différence de hauteur de ces roues et de celles qui étaient auparavant affectées au haquet, a rendu indispensables d'autres changemens, dont on a profité pour simplifier la construction de la voiture, tout en ajoutant à sa solidité et à la facilité du tirage. On a cherché en même temps à diminuer le nombre de voitures de l'équipage pour une longueur de ponts donnée, en plaçant les poutrelles sur le même haquet que le bateau, et les madriers sur des chariots, sans que le

poids d'aucune de ces voitures dépassât celui de la pièce de 12, limite que l'on s'était imposée. Enfin les modifications apportées à la construction du haquet ont permis d'élargir le bateau, ce qui augmente sa stabilité et sa capacité. Des expériences faites à Strasbourg ont prouvé la convenance de ces dispositions, et ont motivé l'adoption définitive du nouveau haquet.

En même temps que l'on s'occupait d'améliorer l'équipage de ponts de bateaux, des recherches furent entreprises dans le but de trouver un équipage plus léger, exclusivement destiné au service des corps d'avant-garde, propre à en suivre tous les mouvemens, et capable de donner passage à l'infanterie, à la cavalerie et même à l'artillerie de campagne, sur des cours d'eau de moyenne largeur. Un système de pontons cylindriques en fer-blanc parut propre à remplir ce but. Ce système réunit aux propriétés indispensables à tout équipage de pont, celles d'être d'un transport extrêmement facile, et d'avoir des corps de support insubmersibles, ce qui permet au pont, lorsqu'une surcharge momentanée le fait plonger dans l'eau, de reprendre sa position primitive, aussitôt que cette surcharge cesse.

Les pontons de ce système sont des cylindres en fer-blanc terminés par des cônes droits. Des cloisons partagent l'intérieur en compartimens, de manière à ce que les pontons conservent en-

core une partie de leurs propriétés, dans le cas où l'eau s'y introduirait par une ouverture faite accidentellement ou par le feu de l'ennemi. Des crampons ou poignées, fixés aux cylindres, servent à les manœuvrer et à les brêler; chaque ponton est garni d'un châssis en bois, sur lequel s'appuient les poutrelles quand le pont est tendu. Lorsque les fardeaux à supporter sont très-considérables, on accouple ensemble deux pontons, en sorte que chaque poutrelle repose sur quatre de ces pontons; six voitures suffisent pour transporter les pontons et les agrès nécessaires à la construction d'un pont d'environ 40 mètres de longueur.

Des épreuves spéciales eurent lieu à Strasbourg sur ce système de ponts; elles firent connaître que, construit à pontons isolés, il pouvait donner passage, sur des rivières d'un courant moyen, à l'infanterie sur deux ou trois rangs, à la cavalerie sur un ou deux rangs, à la pièce de 8 attelée, et à la piece de 12 traînée à bras. Elles constatèrent également que les pontons, réunis en portière ou en pont volant, pouvaient porter trente hommes armés, trois cavaliers avec leurs chevaux, ou une pièce de campagne, et qu'ils pouvaient traverser en deux minutes une rivière de 80 mètres de largeur. Ces résultats furent jugés assez avantageux pour qu'il parût convenable de les faire confirmer par une expérience plus prolon-

gée. Les pontons cylindriques continuèrent en conséquence à être employés à l'instruction et aux manœuvres du bataillon de pontonniers, et le résultat de ces essais permettra de prononcer bientôt sur l'adoption définitive de ce système de ponts.

Ponts de cordages. Depuis plusieurs années, le bataillon de pontonniers s'est occupé de recherches et d'essais relatifs aux ponts de cordages. Ces essais, auxquels M. le capitaine Labatie a pris la plus grande part, ont eu pour résultat l'adoption d'un système de ponts de cordages, qui paraît satisfaire à toutes les conditions du service. On ne croit pas nécessaire d'en donner ici la description, parce que le nouveau règlement sur le service des pontonniers, qui est sous presse, le fera suffisamment connaître aux officiers d'artillerie.

NOTICE

SUR LES

OUVRAGES DE M. D'OBENHEIM,

CONCERNANT LA BALISTIQUE,

Et description succincte de la planchette du canonnier et de la planchette du bombardier, avec leurs principaux usages (1).

La balistique, considérée comme une application des principes généraux de la mécanique rationnelle, a participé aux progrès que les géomètres ont fait faire à cette science; dans les plus anciens temps, lorsqu'on ignorait la pesanteur et ses lois, qu'on n'avait égard qu'à la force de projection, alors on croyait que les mobiles lancés dans l'air décrivaient des droites, qu'ils parcouraient avec un mouvement plus ou moins violent; les découvertes de Galilée sur la chute

(1) Dans les citations, les lettres *Bal.* désignent la Balistique (1814), et les lettres *Mém.* le Mémoire sur la planchette (1818). Ces deux ouvrages sont ceux que M. d'Obenheim a publiés.

des graves mirent en état de combiner les impulsions de la gravité avec celles de la poudre; cette combinaison assigne à la trajectoire la forme d'une parabole; c'est celle qui fut long-temps adoptée et serait en effet celle qui existerait, si les corps projetés se mouvaient dans le vide, ou du moins dans un milieu extrêmement raréfié. Enfin, par l'invention de l'algorithme différentiel, on put faire entrer dans les questions de dynamique les forces retardatrices, de la nature de celle qu'oppose la résistance des fluides. On admit, comme conséquence de recherches expérimentales, que cette résistance était proportionnelle au carré de la vitesse du mobile; dans cette hypothèse, la trajectoire est une courbe plane continue, et douée, comme l'hyperbole conique, de deux asymptotes, dont l'une appartient à la branche ascendante, et dont l'autre, appartenant à la branche descendante, est verticale. Telle est la trajectoire, du moins lorsque la direction de la force projective passe par le centre de gravité du projectile, supposé être une sphère. Lorsque cette condition n'existe pas, le projectile prend un mouvement de rotation autour d'un axe qui ne passe pas par le centre de gravité; ce mouvement, combiné avec la résistance de l'air, donne une trajectoire qui n'est pas plane, et dont la forme n'a pas encore été bien déterminée. Dans l'état actuel de la balisti-

que rationnelle, on suppose toujours que la trajectoire est plane. La loi de résistance ci-dessus énoncée et sur laquelle le calcul est basé, est admise par la plupart des auteurs qui ont écrit sur la matière, mais non par tous, ni sans restriction. Ceux mêmes qui reconnaissent cette loi, ne sont point d'accord sur le nombre constant par lequel il convient de multiplier le carré de la vitesse ; ou, ce qui revient au même, les opinions varient sur l'évaluation du poids équivalent à la pression qu'éprouve l'unité de surface transportée dans l'air avec une vitesse égale à l'unité linéaire ; nonobstant la multiplicité des recherches et l'habileté des physiciens, cette évaluation importante est encore incertaine. Ces difficultés tiennent à la nature du sujet ; d'autres sont inhérentes à la forme transcendante des équations de la trajectoire, qui ne sont intégrables, avec une exactitude suffisante, que lorsque le tir est peu élevé. Dans tous les cas, les calculs sont d'une longueur rebutante, et à chaque cas particulier on est obligé de les recommencer; il est vrai qu'on a proposé de réduire en tables les parties de ces calculs, qui, communes à toutes les formules, reviennent toujours. Quelques-unes de ces tables ont été exécutées; mais elles ne sont ni assez nombreuses ni assez étendues. Pour y suppléer, M. le professeur d'Obenheim a entrepris de représenter par un système de lignes droites et courbes toutes

les relations entre les élémens balistiques exprimées par les formules. Faisant un choix judicieux entre ces relations, et les limitant d'après les convenances du service; distinguant par des notations et des couleurs différentes, les lignes, lieux de ces relations, et diversifiant les échelles selon l'étendue de ces lignes, ce professeur est parvenu à tracer sur des planchettes portatives; ce qui est nécessaire pour résoudre graphiquement tous les problèmes du tir relatifs aux projectiles et aux calibres en usage dans l'artillerie de France. Ce travail important, le plus considérable que l'on ait exécuté sur la construction géométrique des trajectoires, est entièrement terminé. Il est divisé en deux parties : la première, consacrée aux armes dont le tir est peu élevé, a été publié en 1818, sous ce titre : *Mémoire contenant la théorie, la description et l'usage de la planchette du canonnier.* La planchette elle-même a aussi été confectionnée. Depuis, l'auteur n'a cessé de s'occuper de la seconde partie, qui est achevée et ne tardera pas à paraître. Elle porte pour titre : *Mémoire sur la planchette balistique pour le tir élevé, ou Supplément complet de la planchette du canonnier.* Cette seconde planchette, qui est celle *du bombardier*, est aussi exécutée. Les deux mémoires, et surtout le dernier, sont le développement de la théorie et des méthodes de construction consignées dans

le Traité de balistique du même auteur, qui a paru en 1814 : quinze années de travaux et d'efforts continus ont été employés pour établir la planchette balistique.

Le talent exercé du calculateur, et les soins apportés à la confection des tracés, préviennent en faveur de leur exactitude : plusieurs ont été vérifiés; leur utilité est incontestable. Déjà nous devons à la planchette du canonnier les Tables de M. le lieutenant-colonel Lyautey, pour le tir à ricochet, qui font suite à son mémoire couronné, sur le même objet. Quoique les ouvrages de M. d'Obenheim soient connus de tous les officiers d'Artillerie, on a pensé que des extraits de ces ouvrages, ayant uniquement rapport aux opérations qu'on peut exécuter à l'aide de la planchette, pourraient contribuer à en faciliter et à en répandre l'usage : c'est dans cette vue qu'on a fait rédiger la présente notice, et qu'on l'a insérée dans le Mémorial. On se contentera de donner les formules fondamentales strictement nécessaires aux tracés, en indiquant les endroits où on les trouve dans les mémoires ci-dessus cités. On a été obligé, pour se renfermer dans les limites d'un extrait, de diminuer les nombreuses notations de l'auteur, de les réduire au moindre nombre possible, et de leur conserver toujours une signification invariable. On s'occupera d'abord de la planchette du canonnier, en commençant par l'exposition suc-

cincte des formules analytiques qui servent de base aux tracés; de là on passera à la description de ces tracés, et ensuite à leurs applications aux principaux problèmes du tir; on suivra la même marche pour la seconde planchette, celle du bombardier.

A. *Résistance de l'air contre un projectile en mouvement.*

Lorsqu'un mobile traverse l'air, il est évident que la résistance qu'oppose ce fluide dépend de sa densité, de la vitesse et de la forme du projectile, et de l'étendue de la surface choquée. Dans les recherches qui suivent, on admet, avec la plupart des physiciens, que cette résistance est proportionnelle à la seconde puissance de la vitesse, et pour des mobiles semblables, à l'aire des surfaces choquées. On ne considérera que des projectiles sphériques, homogènes, les centres de gravité étant aux centres de figure; la force projective et le temps sont comptés de l'instant où le projectile quitte la bouche de la pièce; la direction de cette force initiale est toujours censée passer par le centre de gravité du projectile.

Cela posé, soient :

$r =$ rayon du projectile.

$\delta =$ densité de l'air $= 0{,}0849$.

$\pi =$ rapport du diamètre à la circonférence $= 3{,}1415$.

m = coefficient constant = 0,3.

v = la vitesse.

R = la résistance.

On aura

$R = m\pi r^2 \delta v^2$ (Bal., p. 32).

La densité varie avec les diverses couches d'air que traverse le projectile; comme la plus grande hauteur à laquelle s'élèvent les projectiles d'artillerie ne dépasse pas 160 mètres, on peut admettre que cette densité est constante; on peut voir les raisons qui ont fait adopter pour δ l'évaluation rapportée ci-dessus, à la fin du *Mémoire sur la planchette*, p. 175.

On ne s'accorde point sur la valeur de m; on l'a supposée égale à 0,3 pour construire les tracés de la planchette.

B. *Mouvement rectiligne d'un projectile non pesant dans l'air.*

Supposons qu'un projectile se meuve en vertu d'une impulsion primitive dans un tube horizontal, d'une étendue indéfinie, et rempli d'air; il est évident qu'on peut faire abstraction de la pesanteur et conserver la même notation qu'en A.

Soient de plus :

P = masse du mobile, proportionnelle à son poids.

t = le temps, commençant avec le mouvement.

$v =$ la vitesse au bout du temps t.

$x =$ espace parcouru au bout du temps t; les espaces commencent avec le mouvement.

$v' =$ la vitesse initiale.

$n = \frac{m\pi r\delta}{P}$.

La force retardatrice, provenant ici de la résistance de l'air, est en général exprimée par $\frac{dv}{dt}$; on a donc la force motrice ou la résistance égale à $P\frac{dv}{dt}$; donc on a l'équation

$$P\frac{dv}{dt} = m\pi r\delta v^2; \text{ d'où}$$

$$\frac{dv}{dt} = -nv^2.$$

En intégrant et observant qu'on a $t = o$, $v = v'$; il vient $t = \frac{1}{n} \cdot \frac{v - v'}{vv'}$. (Bal., p. 33.) (notre v' répond au V de l'ouvrage) remplaçant dt par $\frac{dx}{v}$, et intégrant il vient $x = \frac{1}{n} L \frac{v'}{v}$. (Bal., p. 33.)

L désigne un logarithme népérien; on sait qu'un tel logarithme est égal à un logarithme ordinaire, divisé par M; et M $= 0,434294482$.

C. *Mouvement vertical d'ascension d'un projectile pesant.*

La densité des projectiles d'artillerie étant de 3000 à 8000 fois plus grande que celle de l'air,

il est inutile d'avoir égard à la différence des poids des projectiles pesés dans l'air et dans le vide.

Notation ; la même qu'en B; de plus

g = vitesse acquise par un corps grave tombant dans le vide, au bout d'une seconde = 30pi.,2.

$q =$ arc tang. $= v\sqrt{\frac{n}{g}}$.

$Q =$ arc tang. $= v'\sqrt{\frac{n}{g}}$.

$X =$ hauteur totale de l'ascension, espace parcouru.

$T =$ durée totale de l'ascension.

La pesanteur s'ajoute à la résistance de l'air pour s'opposer à l'ascension du mobile.

$\frac{dv}{dt} = -nv^2$, et en intégrant,

$t = \frac{1}{\sqrt{ng}}(Q - q)$.

Remplaçant dt par $\frac{dx}{v}$, et intégrant, on obtient

$$\left.\begin{array}{l} 2\,nx = L\,\frac{nv'^2 + g}{nv^2 + g} \\ \text{et} \\ 2\,nX = L\,\frac{nv'^2 + g}{g} \\ T = \frac{1}{\sqrt{ng}}\,Q \end{array}\right\} \text{(Bal., p. 35.)}$$

L désigne le logarithme népérien.

D. *Mouvement vertical de chute d'un corps pesant.*

Notation comme ci-dessus; de plus
e = base du système népérien = 2,7182818.

La pesanteur favorisant la chute, l'équation différentielle du mouvement devient

$\frac{dv}{dt} = -nv^2 + g$; d'où l'on tire par intégration

$$\left.\begin{aligned} 2nt &= \frac{1}{\sqrt{\frac{g}{n}}} L \frac{\sqrt{\frac{g}{n}} + v}{\sqrt{\frac{g}{n}} - v} \\ 2nx &= L\, \frac{g}{g - nv^2} \\ v &= \sqrt{\frac{g}{n}}\, \frac{e^{2nt\sqrt{\frac{g}{n}}} - 1}{e^{2nt\sqrt{\frac{g}{n}}} + 1} \\ 2nX &= L\, \frac{g}{g - nv^2} \end{aligned}\right\} \text{(Bal., p. 36 et 37.)}$$

Égalant cette dernière valeur à celle que nous avons trouvée pour le mouvement ascensionnel, on aura

$$\frac{g}{g - nv^2} = \frac{nv'^2 + g}{g}\text{; d'où}$$

$$v^2 = \frac{gv'^2}{nv'^2 + g}.$$

Ainsi un corps pesant lancé avec une vitesse v' retombe à terre avec une vitesse v plus petite que v'. Dans le vide, l'on a $\delta = o$ et par conséquent $n = o$; alors $v = v'$, ce qui est évident à priori.

E. *Mouvement en ligne courbe; trajectoire.*

Nous allons supposer maintenant que le projectile est lancé obliquement à l'horizon; mais nous ferons abstraction des causes perturbatrices qui font dévier le projectile des plans de tir; ainsi la trajectoire est entièrement située dans le plan vertical qui passe par l'axe de la pièce.

Notation.

x = abscisse horizontale; comptée de la bouche de la pièce et dans le sens du mouvement.

y = ordonnée verticale; comptée de bas en haut.

t = temps, compté en secondes et commençant avec le mouvement.

v = vitesse au point ayant pour coordonnées x et y.

v' = vitesse à l'origine, à la bouche de la pièce, ou vitesse initiale.

v'' = vitesse de chute.

U = vitesse au sommet.

x'' = abscisse au point de chute.

X'' = abscisse du second point d'intersection de la trajectoire avec l'axe des x, ou portée horizontale.

y'' = ordonnée au point de chute.

s = arc de trajectoire, compté de l'origine.

I = angle d'inclinaison de l'axe de la pièce.

$z = \frac{dy}{dx} =$ tangente de l'angle d'inclinaison de la tangente à la trajectoire, au point qui a pour coordonnées x et y.

$z' =$ tangente de cet angle à l'origine, ou direction initiale.

$z'' = Id.$ au point de chute.

$Z = \frac{1}{2} [z \sqrt{1+z^2} + L(z + \sqrt{1+z^2})].$

$Z =$ valeur initiale de Z.

$Z'' =$ valeur de Z au point de chute.

$n = \frac{m\pi r \delta}{P}$. (Page 250.)

$g = 30,2$. (Page 251.)

La force motrice du projectile à chaque instant, est la résultante des forces motrices dues à la pesanteur et à la résistance de l'air à ce même instant; décomposant ces forces en d'autres, horizontales et verticales, on obtient les équations suivantes :

$$d\left(\frac{dx}{dt}\right) = -nv^2 dt \frac{dx}{ds},$$

$$d\left(\frac{dy}{dt}\right) = -nv^2 dt \frac{dy}{ds} - g dt,$$

$\frac{dx}{ds}$, $\frac{dy}{ds}$ sont le cosinus et le sinus de l'angle dont z est la tangente. Différentiant, en prenant dt constant, il vient

$$\left.\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -nv^2 \frac{dx}{ds} \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= -nv^2 \frac{dy}{ds} - g \end{aligned}\right\} \text{(Bal., p. 43.)}$$

Remplaçant v^2 dans ces équations par sa valeur $\frac{ds^2}{dt^2}$, elle se change en celle-ci :

$$\frac{\frac{d^2x}{dt^2}}{\frac{dx}{dt}} = -nds,$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -n\frac{ds}{dt}\frac{dy}{dt} - g.$$

Intégrant la première de ces équations, il vient :

$$L\frac{\frac{dx}{dt}}{v'\cos. I} = -ns.$$

I est l'angle d'inclinaison de l'axe de la pièce, et $v'\cos. I$ est la vitesse initiale estimée horizontalement. Le logarithme étant négatif, la quantité qu'il affecte est une fraction ; donc la vitesse horizontale va toujours en diminuant, à mesure que l'arc *s* augmente, et à l'infini cette vitesse est nulle ; il n'en est point ainsi de la vitesse verticale $\frac{dy}{dt}$ qui ne peut jamais devenir nulle, à cause de la pesanteur ; donc à l'infini $\frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}}$ est infiniment grand ; cette expression est la même que $\frac{dy}{dx}$ ou *Z* ; donc pour *s* infiniment grand, la tangente est verticale, ce qui est le caractère d'une asymptote verticale. (Bal., p. 44.) Si on éliminait *dt* entre les deux équations du second

ordre, on obtiendrait une équation différentielle très-compliquée entre les coordonnées de la trajectoire. Il est plus simple de chercher à part les relations entre chacune d'elles et la tangente z ; à cet effet, éliminons ds de la valeur de d^2x, à l'aide de l'équation connue,

$ds = \sqrt{dx^2+dy^2} = dx\sqrt{1+z^2}$, on obtient $dz = -\frac{dx\, d^2x}{dx^3} = -ndz\sqrt{1+z^2}$. Mais $dz = d\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{dxd^2y - dyd^2x}{dx^2}$; éliminant de cette valeur d^2x et d^2y, il vient $\frac{dzdx}{dt^2} = -g$: donc

$$\frac{dzdxd^2x}{dx^3} = -g\frac{dt}{dx}\cdot\frac{dtd^2x}{dx^2} = g\frac{dt}{dx}\cdot d\left(\frac{dt}{dx}\right).$$

Intégrant, il vient

$$\tfrac{1}{2}g\left(\frac{dt}{dx}\right)^2 = -n\int dz\sqrt{1+z^2} + C = nZ + C,$$

où Z est l'intégrale (voy. p. 254) et C la constante arbitraire; remplaçant dt^2 par $-\frac{dz\,dx}{g}$, il vient

$$2ndx = \frac{dz}{C+Z};$$

indiquant les intégrations, et faisant usage des valeurs ci-dessus obtenues, on trouve les cinq équations suivantes avec deux constantes arbitraires :

$$2nx = \int \frac{dz}{C+Z}. \quad (1)$$

$$2ny = \int \frac{zdz}{C+Z}. \quad (2)$$

$$2ns = L.(C+Z)+A. \quad (3) \quad \text{(Bal., p. 47).}$$

$$t\sqrt{2ng} = \int \frac{dz}{\sqrt{-(C+Z)}}. \quad (4)$$

$$2nv^2 = \frac{-g(1+z^2)}{C+Z}. \quad (5)$$

A l'origine s, z, v, Z deviennent o, z', v', Z'; substituant dans les équations (3) et (5) on obtient

$$A = -L(C+Z').$$

$$C = -\frac{g(1+z'^2)+2nv'^2 Z'}{2nv'^2}. \quad (6)$$

Ainsi les constantes A et C sont déterminées en fonction des données initiales.

Au sommet l'on a $z=0$; $Z=0$; $v=U$; d'où

$$C = -\frac{g}{2nU^2}; \text{ et}$$

$$U^2 = \frac{-g}{2nC} = \frac{gv^2}{g(1+z^2)+2nv^2 Z} \quad (7). \quad \text{(Bal., p. 49).}$$

L'on voit, par cette équation, que C est essentiellement de signe négatif.

En introduisant la valeur de la constante A dans l'équation (3), elle prend cette forme:

$$2ns = L.\left(\frac{C+Z}{C+Z'}\right). \quad (8)$$

Lorsque s est infini et positif, il faut que l'on ait z, et par conséquent Z aussi infini; ce qui donne l'asymptote verticale; mais si s est infini et négatif, il faut alors que l'on ait

$$Z + C = o;\ Z = \frac{g}{2nU^2}.$$

De cette équation on tire une valeur de z qui donne la tangente de l'inclinaison de l'asymptote à la branche descendante.

La longueur de la branche ascendante est évidemment

$\frac{1}{2n} L \frac{C}{C+Z'}$; celle de toute la trajectoire depuis le départ jusqu'au point de chute est $\frac{1}{2n} L \left(\frac{C+Z''}{C+Z'}\right)$; donc la longueur de la branche descendante est $\frac{1}{2n} L \frac{C+Z''}{C}$; nous aurons besoin de ces expressions.

Telles sont les équations fondamentales de la balistique rationnelle; et, en y joignant celles qui ont lieu dans le vide, on a tout ce qu'il faut pour résoudre analytiquement les questions du tir; les équations de la trajectoire dans le vide, écrites d'après la notation adoptée ci-dessus (page 253), sont:

$$y = z'x - g\left(\frac{1+z'^2}{2v'^2}\right)x^2 \quad (9)$$

$$v^2 = g^2x^2\left(\frac{1+z'^2}{v'^2}\right) - 2gxz' + v'^2 \quad (10)$$

$$t = \frac{x}{v'}\sqrt{1+z'^2} \quad (11)$$

$$U^2 = \frac{v'^2}{1+z'^2} \quad (12)$$

$$X'' = \frac{2v'^2z'}{g(1+z'^2)} = \frac{2v'^2}{g}\,\frac{\tan I}{1+\tan^2 I} = \frac{v'^2}{g}\sin.2I \quad (13)$$

$$s = \frac{U^2}{g}(Z'-Z) \quad (14)$$

ou $\frac{U^2Z'}{g}$ est la longueur de la branche ascendante,

faisons $Z = \frac{g}{2nU^2}$; il vient

$$s = \frac{U^2Z'}{g} - \frac{1}{2n}.$$

Si donc, à partir du sommet, on prend sur la branche ascendante de la trajectoire parabolique, un arc égal en longueur à $\frac{1}{2n}$, on a un point tel que si on y mène une tangente, elle sera parallèle à l'asymptote inclinée de la trajectoire dans l'air, qui au sommet a la même vitesse U (Bal., p. 52); il reste, pour déterminer la position de cette asymptote, à trouver le point où elle coupe la tangente à la trajectoire, menée par le sommet; cette recherche nous écarterait trop de notre sujet.

F. *Trajectoires pour les armes dont le tir est peu élevé.*

Toutes les équations que nous avons considérées jusqu'ici ont lieu, quel que soit l'angle de tir, et elles affectent une forme qui échappe à l'intégration. Il n'en est point ainsi lorsque l'angle de tir est peu élevé; alors il se présente des simplifications que nous devons faire connaître; ces équations simplifiées servent de base aux tracés de la planchette du canonnier. Dans cette planchette, on suppose que l'angle de tir ne dépasse pas 16°; et que par conséquent la tangente de cet angle, ou ce que nous avons appelé z', ne dépasse pas 0,30; dans cette hypothèse, la fonction z varie aussi entre des limites très-rapprochées; en effet, développant Z en série, on aura

$$Z=z(1+\tfrac{1}{6}z^2-\tfrac{1}{40}z^4+\tfrac{1}{112}z^6-\tfrac{5}{1152}z^8+\ldots\text{etc.}).(15)$$

Ou en représentant par p la série qui multiplie z, on aura

$$Z=pz\ (16).$$

Au sommet de la trajectoire on a évidemment $z=0$ et $p=1$; pour les autres valeurs de z comprises entre 0 et 0,30, les valeurs de p varient très-peu (Mém., p. 36), et ne diffèrent presque pas de l'unité; de sorte que toutes les lignes de la

planchette ont été tracées dans la supposition de $p = 1$; dans les formules, nous conserverons toutefois la lettre p, en la traitant comme une constante; on en verra les avantages plus bas; remplaçant donc Z par pz dans les équations de (1) à (6) et intégrant, on aura

$$2nx = \frac{1}{p} L. \frac{C + pz}{C + pz'} \quad (17)$$

$$2ny = \frac{1}{p} (z - z' - 2Cnx) \quad (18)$$ (Mém., p. 42.)

$$s = px.$$

$$t\sqrt{2ng} = \frac{2}{p} [\sqrt{-(C+pz')} - \sqrt{-(C+pz)}] \quad (19)$$

D'où l'on tire

$$C = \frac{p(z'e^{2pnx} - z)}{1 - e^{2pnx}} = \frac{z - z' - e^{2pny}}{2nx} \quad (20)$$

Éliminant C et z entre ces deux équations et l'équation (6), on aura

$$\frac{2npv'^2}{g} = \frac{e^{2pnx} - (2pnx + 1)}{2pnx} \frac{1 + z'^2}{z' - \frac{y}{x}} \quad (21)$$

e représente comme d'ordinaire la base du système népérien.

Au point de chute où l'on a $y = 0$; il vient

$$\frac{2n}{g} v'^2 = \frac{e^{2pnX''} - (2^{pn}X'' + 1)}{2pnX''} \frac{1 + z'^2}{z'} \quad (22)$$

(Mém., p. 45.)

n dépend du calibre; X'' est la portée horizontale; donc, pour le même calibre et la même

portée horizontale, les carrés v'^2 des vitesses initiales sont proportionnelles à la quantité $\frac{1+z'^2}{z'}$ ou $\frac{1}{z'}+z'$; mais z' étant la tangente, $\frac{1}{z'}$ est la cotangente de l'angle de tir; donc la vitesse initiale est proportionnelle à la racine carrée de la somme faite de la tangente et de la cotangente de l'angle de tir; cette proportion a aussi lieu dans le vide (équat. 13); comme alors elle est indépendante de n, elle subsiste même entre des calibres différens. Il est aisé de voir que la somme énoncée est égale au double de la cosécante du double de l'angle de tir. La construction principale de la planchette est fondée sur cette proportion, qu'il est donc bien important de se fixer dans la mémoire.

L'équation (21) fournit celle-ci :

$$z'=\frac{M}{R}\,z+\frac{N}{R}\,y,\ \text{ou}$$
$$M=2pnx+1-e^{2pnx}.$$
$$N=p\,(e^{2pnx}-1).$$
$$R=e^{2pnx}(2pnx-1)+1..$$

Supposons que x, y, z se rapportant au point de chute, une autre trajectoire ait même origine, et au point de chute, même x et même z, mais $y=0$; et soit ζ la tangente de l'angle de tir pour cette seconde trajectoire, on aura ainsi :

$$\zeta = \frac{M}{R} z.$$

$$z' = \zeta + \frac{N}{R} y \quad (23) \quad \text{(Mém., p. 47).}$$

G. *Description de la planchette du canonnier* (voir *planche* II).

La planchette est un rectangle divisé en carrés égaux par des droites horizontales et verticales respectivement équidistantes; chacune de ces droites porte un n°. d'ordre placé à son extrémité droite et gauche; ce n°. sert à les désigner; ainsi, *H*6 est l'horizontale qui passe par 6, et *V*6 est la verticale qui passe par 6; la première verticale est la ligne *MO*, et la première horizontale est la ligne *MN*; toutes les lignes tracées sur la planchette sont rapportées à des coordonnées rectangulaires, et y ont pour axes une horizontale et une verticale indiquées spécialement pour chacune de ces courbes; étant donné un point sur l'une de ces courbes, si ce point est le sommet d'un carré, les coordonnées du point renfermeront un certain nombre de fois le côté d'un carré; et si l'on connaît l'échelle de la courbe, c'est-à-dire si l'on sait ce que représente le côté du carré, pour l'abscisse et pour l'ordonnée dont il s'agit, on aura ainsi les longueurs réelles des coordonnées du point; et si le point n'est pas le sommet d'un carré, il sera facile d'en

avoir les coordonnées approximatives; car chaque côté de carré a 20 millimètres de longueur effective, et on peut estimer à vue le 20e. de cette longueur; et réciproquement lorsqu'on donne une des coordonnées de ces courbes, on peut trouver le point correspondant et la longueur de l'autre coordonnée.

On voit un point *O* sur la première verticale entre 21 et 22; il est au-dessus de l'horizontale 21, d'une portion de côté de carré égale à 0,8481; on verra bientôt la raison de cette détermination; à ce point *O*, qui est l'origine des coordonnées de la plupart des courbes, est fixée l'extrémité d'un fil de soie d'une longueur telle que son extrémité atteint le point *N*; lorsqu'un point quelconque de ce fil est placé sur un point de la première horizontale *MN*, il est évident que toutes les horizontales interceptées entre le fil et la première verticale *OM* décroîtront proportionnellement à leurs distances respectives au point *O*; cette observation très-simple est pourtant très-importante, parce qu'elle sert de base à toutes les opérations qu'on effectue sur la planchette. L'ensemble de ces opérations forme quatre sections principales que nous allons successivement analyser.

PREMIERE SECTION.

Le but est au niveau de la batterie;

$p = 1.$

On cherche les relations existantes pour un calibre donné, entre la portée, la vitesse initiale, l'angle de tir, la tangente de cet angle et la hausse.

1. Courbe noire *bbb*, ou courbe des tangentes (Mém., p. 55). Relation entre les degrés d'un arc et sa tangente, le rayon étant pris pour l'unité.

Origine au point M.

Axes MO et MN.

Les abscisses sur OM représentent des arcs exprimés en degrés.

Un côté de carré est un degré.

Les ordonnées sur MN représentent les tangentes de ces arcs ou des z. Ces tangentes sont des nombres.

Un côté de carré représente le nombre 0,01.

Au point d'origine M, l'arc est nul et aussi sa tangente; ainsi la courbe passe par l'origine et s'arrête environ à l'horizontale 17 ou à 17°; la tangente correspondante à 17° 6′ est égale à 0,30573.

Ainsi, dans ces limites, la courbe sert à trouver la tangente quand on connaît l'arc, et réciproquement.

2. Courbe noire *aaa* ou des doubles cosécantes.
(Mém., p. 53.)

Origine au point O,

Axe OM, OP,

Ordonnées sur OP; représentent comme ci-dessus des tangentes ou des z, comprises entre 0,01 et 0,30.

Un côté de carré représente le nombre 0,01; abscisses et ordonnées.

Abscisses sur OM; représentent la quantité $a\sqrt{\frac{1+z'^2}{z'}}$,

Ou bien la racine carrée du double de la cosécante, du double de l'angle dont z est la tangente; a est un coëfficient constant.

On a assujetti cette courbe à passer par les points d'intersection L de $H1$ avec $V1$, et par celui de $h.16$ avec $v.16$; ces deux conditions ont fixé la position du point O telle qu'elle a été indiquée (page 264), et donné $a = 0{,}0200838 16$; ainsi, lorsque la tangente est 0,01 ou OKL, l'abscisse est $OM = a\sqrt{\frac{1+(0{,}1)^2}{0{,}1}} = 0{,}208481$.

Si pour le même calibre on obtient la même portée horizontale avec des angles de tir différens, cette courbe fera connaitre le rapport entre les vitesses initiales (page 262). En effet, cherchant les ordonnées qui représentent les

tangentes des angles de tir, les abscisses correspondantes sont entre elles comme les vitesses initiales.

3. Courbe noire $a'a'a'$, et prolongement de aaa.

La courbe précédente s'arrête en L, où la tangente est égale à 0,01 ; mais si la tangente est plus petite, il faudrait prolonger la courbe hors de la planchette. Pour suppléer au défaut d'espace, on transporte le point L sur l'horizontale 16—L', et la courbe $L' L''$ correspond aux angles dont la tangente est plus petite que 0,01 : il est évident que chaque abscisse doit être augmentée de 15 côtés de carrés.

Ainsi, à l'ordonnée 16—L', correspond l'abscisse O— 16 augmenté de 15 côtés de carrés.

4. Courbe noire $a''a''a''$, prolongement de $a'a'a'$.

Elle prolonge la courbe $a' a' a'$, comme celle-ci prolonge aaa; chaque abscisse doit être augmentée de 30 côtés de carrés.

5. Lignes des hausses. (Mém., p. 67.)

Ce sont les droites rouges et bleues qui se croisent un peu au-dessus des points 2 et 3 de l'horizontale MN; elles appartiennent aux différens calibres désignés sur ces lignes par les nombres 48, 24, 16, qui indiquent les poids des boulets.

Les lignes rouges appartiennent aux pièces longues, et les bleues aux pièces courtes. La ligne brune, qui passe un peu au-dessus de M, et vers le bout de laquelle se trouve la cote 0,6, est pour l'obusier de 6 pouces. Ces droites servent à trouver les lignes de hausse quand on connaît la tangente de l'angle de tir. Pour comprendre ceci, soient :

d = différence entre les demi-diamètres correspondans au renflement de la bouche et à l'extrémité de la plate-bande de culasse, où la hausse est fixée perpendiculairement à l'axe de la pièce.

b = la distance entre ces deux demi-diamètres.

h' = la hausse exprimée en lignes.

Il est facile de voir qu'on aura, la mire artificielle étant horizontale,

$h' = bz' - d$, où z' est toujours la tangente de l'angle de tir. Cela posé, la distance M—10 sur l'horizontale MN renferme 10 côtés de carrés qui représentent 0,1 sur l'échelle des tangentes. Si sur M—10 comme diamètre on décrit une demi-circonférence, et qu'on y inscrive, à partir du point 10, une corde égale à $\frac{b}{10}$, en prenant un côté pour 20 lignes, cette corde sera égale à bz', car z' est ici égal à 0,1. Joignant le point M à l'extrémité de la corde $\frac{b}{10}$, et menant une parallèle

à cette corde conjuguée à la distance d, prise sur la même échelle que b, la portion de la corde $\frac{b}{10}$, interceptée entre cette parallèle et le point 10, sera la hausse correspondante à la tangente 0,1 ; car on aura :

$$h = bz' - d = \frac{b}{10} - d.$$

Pour une tangente plus grande ou plus petite, il suffira de la porter sur MN, et d'abaisser une perpendiculaire sur la corde conjuguée à $\frac{b}{10}$; en ne prenant que la partie de cette perpendiculaire qui se termine à la parallèle, on aura la hausse correspondante à la tangente donnée. Ce sont ces parallèles à la corde conjuguée qui ont été tracées sur la planchette, et figurées par des lignes rouges et bleues et une ligne brune. On voit que les perpendiculaires n'ont pas besoin d'être abaissées effectivement.

Lorsque $d = 0$, on a $h = bz'$, et la corde conjuguée se confondant avec la parallèle, celle-ci passe alors par le point M; c'est ce qui a lieu pour les fusils de munition de l'infanterie, et pour le fusil des canonniers et des dragons : les deux droites vertes, passant par M, sont relatives à ces deux armes.

6. Horizontales bleues ou lignes des n. (Mém., p. 58.)

On se rappelle que l'on a :

$$n = \frac{m\pi r\delta}{P}. \quad \text{(Page 250.)}$$

où $m = 0,3$, $\delta = 0,0849$; r et P sont le demi-diamètre et le poids du projectile; par conséquent il y autant de valeurs de n que de calibres différens. Les 14 horizontales bleues, $J - J$, $I' - I'$, $H - H$, $G - G$, $F - F$, $E - E$, $C - C$, $B'' - B''$, $B' - B'$, $B - B$, $A'' - A''$, $A' - A'$, $A - A$, cotées en noir aux extrémités, expriment, par leurs distances à l'horizontale KK, les valeurs d'autant de n; chaque côté de carré compte pour 0,00002; la ligne KK elle-même est relative au vide où l'on a $n = o$; plusieurs de ces valeurs se rapportent à des calibres fictifs; les calibres existans sont écrits à côté des lignes qui leur correspondent.

7. Courbes rouges, cotées en rouge (Mém., p. 56), ou lignes de relation entre les vitesses initiales et les portées horizontales, ou entre v' et X''.

Ces courbes sont au nombre de onze : savoir, A, B', C, D, E, F, G, H, I, I', K; chacune appartient à une valeur particulière de n; pour fixer les idées, supposons qu'il s'agisse de la pièce de 24, pour laquelle la valeur de n est donnée par la distance de l'horizontale bleue H à la

droite *KK*; supposons de plus que la pièce est pointée sous un angle dont la tangente est 0,01, et par conséquent représentée par un côté de carré. Le but étant au niveau de la batterie, il existe avec ces conditions une certaine relation entre la vitesse initiale et la portée horizontale; relation exprimée analytiquement par l'équation (15), lorsqu'on donne à n la valeur particulière à la pièce de 24, et qu'on fait $z' = 0,01$. La courbe rouge *H* est le lieu de cette relation.

L'origine est au point *K* sur la première verticale.

Les abscisses comptées sur l'horizontale *KK* représentent en pieds les vitesses initiales ou v'.

Un côté de carré pour 100 pieds.

Les ordonnées, comptées sur *KO*, représentent les amplitudes ou X''.

Un côté de carré pour 50 toises ou 300 pieds.

Ainsi, au moyen de cette courbe, connaissant la vitesse initiale, on peut trouver la portée horizontale, et réciproquement; mais seulement pour la pièce de 24 et pour l'angle dont la tangente est 0,01; nous verrons plus loin ce qu'il faut faire pour d'autres tangentes de tir; ce que nous avons dit pour la pièce de 24 s'applique aux autres calibres. Les côtes en noir, placées le long de la verticale 14, montrent au premier coup d'œil les horizontales qui sont à 50, 100, 150, etc., toises de la ligne des abscisses. A l'ex-

ception de la courbe K, qui a lieu pour le vide, et par conséquent pour tous les calibres, celles qui s'étendent le plus ne vont pas au delà de la portée de 600 toises; nous verrons plus tard ce qui supplée aux portées supérieures.

8. Courbes noires, toutes cotées $x—x$ (Mém., p. 58), ou relations entre les calibres et les vitesses initiales ou entre n et v'.

Chacune appartient à une valeur particulière de portée horizontale ou de X'' en toises; elle est écrite en noir près de sa convexité, la tangente de tir étant toujours 0,01. Supposons qu'une pièce de calibre inconnu a donné avec la tangente de tir 0,01 une portée de 450 toises, il existe alors une relation entre ce calibre ou bien entre n et la vitesse initiale v'; relation exprimée analytiquement par l'équation (22), lorsqu'on y fait $X'' =$ 450 tois. $=$ 2700 pieds, $z' = 0{,}01$ et $p = 1$; la courbe noire x, cotée 450, est le lieu de cette relation.

Origine K sur la première verticale.

Abscisses, comptées sur KK, sont des vitesses initiales v'; comme ci-dessus et même échelle.

Ordonnées, comptées sur KO, sont des n; sur l'échelle propre à cette quantité, savoir : un côté de carré pour 0,00002.

Ainsi, au moyen de cette courbe, on peut, étant donné le calibre, trouver la vitesse initiale

et réciproquement; mais toujours pour la portée horizontale de 450 toises et la tangente de tir 0,01. Il en est de même pour les autres courbes noires. Il est facile de voir comment les systèmes des lignes de calibres ou des n, combinées avec les système des courbes noires, peut servir à construire les courbes rouges, et *vice versa*; les points de ces courbes noires situées sur l'axe KK répondent à $n = 0$ ou au vide et à tous les calibres.

9. **Courbes noires x', x', x' (Mém., p. 61), prolongemens de x, x, x.**

Elles sont au nombre de trois, placées sur la gauche de la planchette, relativement à la première verticale, comme le seraient les prolongemens de trois courbes noires x,...x, désignées par les mêmes cotes d'amplitudes relativement à la verticale 32, savoir : les amplitudes de 500,550,600.

10. **Petites courbes rouges C, D. (Mém., p. 61).**

Elles sont placées comme les courbes noires; elles sont les prolongemens des grandes courbes rouges C,D au delà de la verticale 32.

10 *bis*. **Grande diagonale rouge O Q (Mém., p. 62).**

Voici l'usage de cette ligne; supposons qu'on prenne un point N sur une courbe noire supplémentaire x' 550; qu'on abaisse sur KK la per-

pendiculaire NN'; la distance KN' est en réalité hors de la planchette et doit être portée sur le prolongement de OK, de Q en N''; concevons les quatre droites OK, ON', OQ, ON''; les deux premières interceptent sur chaque horizontale même longueur que les deux dernières; connaissant la direction du fil de soie qui va de O à N', on trouvera au moyen de la diagonale OQ la direction du fil qui va de O à N'', à quelque distance que le point N'' tombe hors du tableau; il en est de même pour les points situés sur d'autres courbes supplémentaires.

11. Horizontales rouges RS et KK (Mém., p. 63).

L'horizontale rouge RS est tracée aux $\frac{2}{3}$ de la distance de O à l'horizontale KK à partir de O; et l'horizontale, cotée en rouge KK, n'est autre que l'horizontale 8. Nous allons en voir l'usage.

12. Courbes bleues, cotées $x...x$, en bleu (Mém., p. 63), supplémentaires aux noires $x...x$; relations entre n' et n.

Prenons une courbe noire $x..x$ quelconque pour une amplitude, par exemple, de 1250 toises, telle que la courbe tombe hors de la planchette; soit un point M pris sur cette courbe; soit MP son ordonnée x, et KP son abscisse n; le fil de soie OP coupe l'horizontale rouge RS, ou un point I, dont l'abscisse est les $\frac{2}{3}$ de KP;

élevant par le point I une verticale indéfinie ; et prenant sur cette verticale, à partir de l'horizontale 8, une ordonnée égale à MP, on aura un point de la courbe bleue. On aura de même tous les autres points de cette même courbe. Ainsi, les courbes bleues ont pour axe horizontal la ligne KK cotée en rouge, sur laquelle sont comptées les vitesses initiales v' réduites aux $\frac{2}{5}$: les ordonnées n ne sont pas réduites.

Les courbes bleues sont au nombre de 14, et partent toutes de la ligne KK en rouge.

13. Horizontales jaunes cotées en rouge I', I, H, G, F (lignes des n) (Mém., p 69).

Elles sont relatives aux diverses valeurs de n, et sont éloignées de l'horizontale 8, ou KK, cotée en rouge, comme leurs correspondantes le sont de l'horizontale KK cotée en noir.

14. Courbes jaunes, cotées en jaune A', B, C, D (Mém., p. 63 et 65), supplémentaires aux courbes rouges, relations entre x'' et v'.

Elles résultent des intersections des courbes bleues avec les horizontales qui répondent aux différentes valeurs de n, données par les lignes jaunes, conformément à la relation qui existe entre les courbes rouges et les courbes noires : il suffit de remarquer que l'horizontale 8 répond à l'amplitude de 600 toises, et que ce qui excède

cette amplitude est sur l'échelle ordinaire de 50 toises par côté de carré. Pour éviter les méprises à cet égard, les amplitudes ont été cotées en rouge le long de la courbe jaune K, sur les horizontales qui leur conviennent.

14 *bis*. Courbes jaunes et bleues; prolongemens; diagonale OQ' (Mém., p. 66).

Ces courbes sont placées à gauche de la planchette sur le prolongement des précédentes, effectué selon le principe adopté pour le prolongement analogue des courbes noires et rouges. La diagonale rouge OQ' est l'analogue de la première diagonale OQ, et sert à un semblable usage.

15. Courbes rouges K', K'' (*ibid.*).

Elles sont les prolongemens successifs de la courbe rouge K.

L'extrémité inférieure de la courbe K' est dans la même verticale que l'extrémité supérieure de la courbe K, et ainsi des autres; les nombres écrits à côté de ces courbes sur les horizontales indiquent une portée d'autant de fois 50 toises qu'ils contiennent d'unités.

Telles sont les droites et les courbes de la planchette qu'il faut connaître, pour résoudre toutes les questions du tir relatives à cette première section; nous allons donner la résolution du

problème principal; il est facile d'en varier l'énoncé, et de trouver les solutions correspondantes.

Problème I (Mém., page 92).

On a tiré un boulet de 24 avec une pièce de ce calibre, sous un angle donné en degrés, et on a trouvé une portée horizontale x exprimée en toises. On veut connaître 1°. la tangente de l'angle de tir z'; 2°. la hausse; 3°. la vitesse initiale.

Solution : 1°. cherchez dans la courbe noire *bbb* l'ordonnée qui correspond à l'abscisse donnée en degrés; cette ordonnée sera la tangente de l'angle de tir.

2°. Portez cette tangente z', à partir de M, sur l'horizontale de MN; du point que vous obtenez mesurez la distance perpendiculaire à la parallèle de hausse de la pièce de 24, et vous aurez la hausse h.

3°. Prenez la courbe rouge H, c'est celle qui appartient à la pièce de 24; cherchez l'abscisse horizontale qui répond à l'amplitude donnée x. Soit KN' cette abscisse. Si la tangente de l'angle de tir z' est égale à 0,01, ou à KL, alors KN' est la vitesse initiale cherchée. Si z' est plus grand que KL, fixez le fil de soie à l'extrémité de l'abscisse, et cherchez sur la courbe noire *aaa* une abscisse horizontale égale à z'; la portion de cette horizontale interceptée entre le fil de soie et la première verticale est la vitesse initiale

cherchée. Soit PQ cette portion interceptée; Q est sur la première verticale, et P sur le fil.

Il faut se rappeler que la courbe *aaa* est telle que, lorsque les tangentes de tir sont proportionnelles aux abscisses horizontales, les vitesses initiales sont proportionnelles aux coordonnées verticales. Donc KN', vitesse initiale correspondante à KL, est à la vitesse initiale correspondante à z', comme OK est à OM; mais l'on a :

$$OK : OM :: KN' : QP;$$

Donc QP est la vitesse initiale cherchée.

Il est presque superflu d'avertir que toutes les lignes doivent être appréciées d'après leurs échelles respectives. Si z' est plus petit que 0,01, on fera usage de la courbe $a'a'a'$, ou $a''a''a''$.

Si l'amplitude donnée dépasse 600 toises, on prendra la courbe jaune II répondant au calibre de 24.

Il en est de même pour les autres calibres.

DEUXIÈME SECTION.

Lignes relatives à l'angle de chute.

Le but est au niveau de la pièce, ou $y'' = 0$. $P = 1$.

Il s'agit de trouver les relations entre l'angle

de tir, la tangente de cet angle, la hâusse, la vitesse initiale, l'amplitude et l'angle de chute, la vitesse de chute.

Voici les deux formules fondamentales relatives à cette section :

$$-\frac{z''}{z} = \frac{(2npx)^2}{e^{2npx} - (2npx + 1)} + 2npx - 1 \quad (24)$$

$$v'' = \sqrt{\frac{P}{Q}} \times \sqrt{\frac{1 + z''^2}{-z''}} \quad (25)$$

$$P = \frac{g}{2np}\left(e^{2npx}(2pnx - 1) + 1\right)$$

$$Q = 2npxe^{2npx}.$$

(Mém. p. 96.)

Où z'' et v'' représentent la tangente et la vitesse de chute.

On trouve ces formules en combinant ensemble les équations (21) et (22).

L'équation (24) fait voir que le rapport des tangentes de chute et de tir $-\frac{z''}{z}$ dépend uniquement de la valeur de $2npx$; par conséquent il existe entre cette valeur et ce rapport une relation, qui peut se représenter par une courbe transcendante.

L'équation (25) pour la vitesse de chute est semblable à l'équation (22) que nous avons trouvée pour les vitesses initiales, et on en tire la même conclusion; ainsi la courbe noire *aaa* servira aussi pour les vitesses de chute, si l'on sup-

pose que ses ordonnées horizontales représentent les tangentes des angles de chute; alors les vitesses de chute sont proportionnelles aux abscisses verticales.

1. Courbe rouge, cotée en rouge *ccc*. (Mém., p. 97.)

Elle donne les relations entre les amplitudes $2npx$, et le rapport des tangentes de tir $-\frac{z''}{z'}$.

Origine au point *O*.

Abscisses horizontales sur *OP*; un côté de carré $= 0,2$.

Ordonnées verticales sur *OK*, même échelle.

Ainsi, à l'aide de cette courbe, $2npx$ étant donné, on trouve: $-\frac{z''}{z'}$, *et vice versâ*.

x est une ligne, et n est un nombre divisé par une ligne; donc $2npx$ est une ligne divisée par une ligne, et par conséquent un nombre; le pied est pris pour unité.

2. Horizontale rouge *VX* (Mém., p. 98).

Cette horizontale est à 5 côtés de carré, ou, d'après la dernière échelle, à une unité de distance de l'axe *OP*.

Il suit de là, que si l'on mène une horizontale par un point de la courbe *cc*, répondant à une valeur donnée de $2npx$; que l'on porte z' sur l'horizontale *VX*, en partant du point *V*, et que l'on fasse passer la soie par l'extrémité de z' ainsi

placée; la partie de l'horizontale, menée par le point de la courbe qui se trouvera comprise entre la première verticale OQ, sera la valeur de z''; car la figure donne évidemment :

$1 : -\frac{z''}{z'} :: z'$ est à la partie interceptée de la dernière horizontale, qui, par conséquent, est égale à z''.

Et réciproquement l'on voit comment, connaissant $2npx$ et z', on peut trouver $-z''$.

3. Horizontale verte NN, ou ligne des $2nx$ (Mém., p. 100).

La distance entre cette ligne et le point O renferme 20 côtés de carrés et $\frac{5}{6}$ de côté.

Sur cette horizontale, à partir de N, on porte $5n$ sur l'échelle des n, avec 1 côté pour 0,00006; on fait passer la soie sur le point qui en résulte. Sur OM, à partir du point O, on porte la valeur de x en pieds, sur l'échelle de 1 côté de carré pour 400 pieds, et la distance horizontale du dernier point obtenu à la soie est la valeur de $2nx$.

En effet, soit f cette dernière distance, on a la proportion :

$OM : 5n :: x : f.$

Exprimant chaque terme en côtés de carrés, suivant les échelles respectives, il vient :

$$20\frac{5}{6} : \frac{500000 n}{6} :: \frac{x}{400} : 5f;$$ d'où

$f = 2nx.$

On a placé, sur l'horizontale verte les points I, H, G, F, qui correspondent aux quintuples des valeurs de n; et par ces différens points on a tracé d'avance, en lignes vertes, les directions analogues de la soie.

La longueur entière de OM est $8433^{\text{pieds}},924$, sur l'échelle de $2nx$; il est donc plus commode, au lieu de porter x de O vers M, de le retrancher, réduit en pieds, de 8433,924, et ensuite de porter la différence de bas en haut, de M vers O.

4. Courbes vertes ddd, $d'd'd'$, $d''d''d''$ (Mém., p. 101).

La courbe verte ddd est le lien de la relation entre z' et $2nx$, lorsque dans l'équation (24) on donne à z'' la valeur 0,30.

Origine, le point M.

Abscisses horizontales sur MN, représentent des $2nx$.

Ordonnées verticales sur MO, représentent des z'.

Les échelles comme à l'ordinaire.

La courbe verte $d'd'd'$ analogue à la précédente; — $z'' = 0,22$.

Id. $d''d''d''$; $-z'' = \frac{0,22}{6}$

Application à la pièce de 24 (Mém., p. 104).

Problème. On connaît la tangente de l'angle de tir z', et la portée horizontale X; l'on de-

mande la tangente de l'angle de chute $-z''$.

1°. On convertit l'amplitude X en pieds; on retranche ce nombre de 8433,924, ou (ce qui revient à peu près au même) de 8434;

2°. On cherche sur la ligne verte OH (relative à la pièce de 24) une abscisse horizontale, comptée sur la ligne verte NN, ayant le reste trouvé pour ordonnée verticale; cette abscisse est la valeur de $2nX$.

3°. On prend sur la courbe verte *ddd* un point qui a ce $2nX$ pour abscisse; si l'ordonnée est égale à z', alors z'' sera égale à 0,3.

Si l'ordonnée est moindre que z', et que la différence soit un peu forte, alors z'' sera beaucoup plus forte que 0,30 et l'on ne continue l'opération qu'au cas qu'il ne soit question que d'un simple aperçu; mais si l'ordonnée n'est pas moindre que z', on continue l'opération, et à l'aide de la ligne rouge VX et de la courbe rouge *ccc*, on trouvera $-z''$ comme il a été expliqué ci-dessus.

Courbes relatives à la vitesse finale.

1. Courbes vertes ou des vitesses de chute (Mém., p. 106).

Si dans l'équation (25) on fait $-z'' = 0{,}01$, et qu'on donne à x une valeur particulière, il reste alors dans l'équation deux variables n et v''. Il y a autant de relations particulières qu'on

donne de valeurs à x; ces relations sont représentées par les courbes vertes renfermées entre les horizontales 1 et 8; chacune est désignée par la valeur particulière de x exprimée en toises et écrite en vert contre l'une des extrémités de ces courbes; les prolongemens des 9 premières courbes forment un groupe à part dans le haut de la planchette, entre les horizontales 15 et 20.

Application à la pièce de 24.

PROBLÈME. On connaît la tangente de tir, la vitesse initiale; trouver la vitesse de chute.

1°. On cherche la tangente de chute — z'' et l'amplitude X.

2°. Si cette amplitude est une de celles qui sont écrites à côté des courbes vertes, on prendra dans cette courbe le point intersection de la ligne H des n (relative à la pièce de 24) avec la courbe verte; et l'abscisse horizontale est la vitesse de chute cherchée, si la tangente de chute est égale à 0,01; si cette condition n'a pas lieu, on déduira la véritable vitesse de chute par l'intermédiaire de la courbe noire *aaa* et par le même procédé qu'on a employé pour le problème où il s'est agi de déterminer la vitesse initiale.

3°. Si l'amplitude n'est aucune de celles qui sont écrites, elle tombera entre deux amplitudes consécutives; soit par exemple une amplitude de 230 toises; elle tombe entre 200 et 250; les dif-

férences sont 20 et 30. On cherche l'intersection de la ligne H des n avec les courbes vertes, cotées 200 et 250 ; on divisera l'espace compris en segmens proportionnels aux différences 20 et 30 ; et on aura ainsi à très-peu près le point où la ligne H couperait la courbe verte, cotée 230, si elle était tracée. On continue comme pour le cas précédent.

TROISIÈME SECTION.

(Mém., p. 112.)

Dans cette section le but n'est pas au niveau de la pièce, et par conséquent y'' n'est plus zéro.

Formules analytiques.

Dans cette section on fait usage de deux équations.

On déduit de l'équation (21) la suivante :

$$v' = \sqrt{\frac{gR}{2np}} \cdot \sqrt{\frac{1+z'^2}{z' - \frac{y''}{x''}}}. \quad (26)$$

$$R = \frac{e^{2npx''} - (2npx'' + 1)}{2npx''}.$$

Supposons que p, n, x'' restant les mêmes, et y devenant zéro, v' et z' deviennent V' et Z'. On aura la proportion

$$\sqrt{\frac{1+Z'^2}{Z'}} : \sqrt{\frac{1+Z'^2}{z'}} :: V' : \frac{v'}{\sqrt{\frac{z'}{z' - \frac{y''}{x''}}}}.$$

On verra bientôt l'utilité de cette proportion.

Telle est la première équation.

La seconde est :

$$z' = Z' + S\frac{y''}{x''}. \quad (27)$$

$$S = \frac{2npx''(e^{2npx''}-1)}{e^{2npx''}-(2npx''-1)+1}.$$

Quand n, p, x'' restent constans, la quantité qu'il faut ajouter à Z' pour avoir z' est proportionnelle à y'' ou bien à $\frac{y''}{x''}$; et S est une fonction de $2npx''$.

Courbes relatives à cette section.

Courbe rouge cee, cotée en rouge.

On suppose $\frac{y''}{x''} = 0{,}1$.

L'origine est en M.

Abscisse horizontale $2nx''$, sur l'échelle des $2nx$.

Ordonnées verticales représentent $\frac{S}{10}$ sur l'échelle des tangentes.

Ainsi les ordonnées de cette courbe représentent ce qu'il faut ajouter à Z' pour avoir z', lorsque $\frac{y''}{x''} = \frac{1}{10}$. Si $\frac{y''}{x''}$ avait toute autre valeur, il n'y aurait qu'une simple proportion à établir pour avoir les ordonnées correspondantes.

Application à la pièce de 24.

PROBLÈME 1. On connaît l'abscisse et l'ordonnée du point de chute, la tangente de l'angle de chute; on demande la vitesse initiale et la tangente de l'angle de tir.

SOLUTION. 1°. On suppose l'ordonnée du point de chute nulle. Alors on rentre dans la section précédente, et connaissant x'' on cherche V', Z'.

2°. Sur la courbe rouge *eee*, on prend le point qui a pour abscisse $2nx''$; et après avoir trouvé la quantité de millimètres que contient l'ordonnée correspondante, on fait cette proportion :

$\frac{1}{10} : \frac{y''}{x''}$ :: le nombre de millimètres trouvé est à la longueur, aussi en millimètres, de la ligne qu'on doit ajouter à Z' pour avoir z'.

3°. On fait passer la soie par l'extrémité de V', sur le prolongement de l'ordonnée Z' de la courbe *aaa*; on porte aussi z' comme ordonnée sur cette dernière courbe et le point correspondant de la soie donne $\frac{v'}{\sqrt{\frac{z'}{z' - \frac{y''}{x''}}}}$, par suite de la proportion (p. 285). Multipliant cette quantité par $\sqrt{\frac{z'}{z' - \frac{y''}{x''}}}$, on aura v'.

PROBLÈME 2. On connaît l'abscisse x'' et l'ordonnée y'' du but; la vitesse initiale v'; on de-

mande la tangente de chute — z'' et de départ z'.

Solution. Supposons $y''=0$; tout restant le même, et cherchons Z' ; on aura donc, à cause de l'équation (26), où $v' = V'$.

$$\frac{1+z'^2}{z'-\frac{y''}{x''}} = \frac{1+Z'^2}{Z'},$$

Équation du second degré d'où l'on tire la valeur de z'.

Le reste comme au problème précédent.

Problème 3. On connaît y'', v' et — z' ; on demande x'' et z'.

Solution. Il faut, pour résoudre ce problème, employer une courbe d'*erreurs*, dont les abscisses soient des valeurs successives attribuées à x'', et dont les ordonnées soient les diverses valeurs de v', qu'on trouve par le problème 1er. de cette section ; on cherche dans cette courbe le point qui a pour ordonnée la véritable valeur de v', celle qui est donnée, et l'abscisse sera la valeur de x'' ; le reste se continue comme au problème précédent.

Ces trois problèmes sont très-importans dans l'attaque et la défense des places, et pour l'établissement des batteries à la mer.

Le calcul montre que si $\frac{y''}{x''}$ est au-dessous de $\frac{1}{100}$, on peut, sans erreur sensible, diriger la ligne de mire artificielle sur le point qu'on veut

battre, et employer la même vitesse et la même hausse que si le point à battre était au niveau de la bouche de la pièce. Ainsi à 300 toises de distance, on a une latitude de 3 toises en dessus et de 3 toises en dessous, dans laquelle on peut employer V' et Z' à la place de v' et z', même lorsque la vitesse est assez petite pour qu'on soit obligé de tirer sous l'angle de 16°, 42', 7''.

Dans les terrains affectés aux polygones de l'artillerie, $\frac{y''}{x''}$ est ordinairement beaucoup plus petit que 0,01 ; ainsi, les exercices journaliers, et la plupart des épreuves, n'exigent que ce qui est renfermé dans les deux premières sections.

QUATRIÈME SECTION.

Dans tout ce qui précède, on a supposé $p=1$. Cette section est relative à la recherche et à l'emploi de la plus grande valeur de p dans chaque question.

Formule analytique.

Soit $y''=o$,

Soit $v'_{(p)}$, la vitesse initiale dans la supposition de p égale à sa plus grande valeur (voy. p. 260), et $v'_{(1)}$ la même vitesse initiale, en supposant $p=1$. On aura, d'après l'équation (22),

$$\frac{v'_{(p)}}{v'_{(1)}} = {}^{1}\sqrt{\frac{e^{2pnx}-(2pnx+1)}{e^{2nx}-(2nx+1)}} \qquad (28)$$

Courbes relatives à cette section.

1. Courbe rouge *ggg* (Mém., p. 121).

Origine au point M;
Abscisses verticales représentant z;
Ordonnées horizontales représentant $p-1$, depuis 0 jusqu'à 0,22;
Échelle des z comme à l'ordinaire;
Échelle de $p-1$, 1 côté de carré pour 0,002.

2. Courbe rouge $g'g'g'$. (Mém., p. 122.)

Prolongement de la précédente jusqu'à $z=0,31$; l'horizontale 22 est rapportée sur l'horizontale MN; les échelles restent les mêmes.

3. Courbe rouge $g''g''g''$. (*Ibid.*)

Origine au point M;
Abscisse horizontale z;
Ordonnées verticales $\sqrt{p-1}$.

4. Courbes noires hhh, $h'h'h'$, $h''h''h''$, $h'''h'''h'''$, $h''''h''''h''''$ (Mém., *ibid.*).

Elles se rapportent à l'équation (28).

Dans la 1re. on suppose $z=0,30$,
2e. $z=0,22$,
3e. $z=0,15$,
4e. $z=0,10$,
5e. $z=0,05$.

Origine le point M;

Abscisses horizontales représentent $2\ nx$; échelle ordinaire.

Ordonnées verticales représentent $\frac{v'_p}{v'_{(1)}} - 1$; échelle ordinaire 1 côté pour 0,002. Ces courbes sont placées au bas de la planchette.

5. Courbe noire *lll*. (Mém., p. 123.)

Lieu de l'équation (28).

On suppose $2\,nx''=3{,}275416$; c'est la plus grande valeur que puisse prendre cette quantité avec les projectiles en usage. La courbe représente la relation entre z et $\frac{v'_p}{v'_{(1)}} - 1$, z est pris depuis 0 jusqu'à 0,30.

Abscisses verticales; représentent $\frac{v'_p}{v'_{(1)}} - 1$, partent de l'horizontale MN; même échelle que dessus.

Ordonnées horizontales; représentent z', et se comptent sur la verticale, un peu à droite de la verticale 16, au point où se termine $2\,nx''=3{,}275416$.

Application (Mém., p. 124).

Prob. On connaît $2\,nx''$, et z regardé comme la plus grande tangente, et l'on demande $\frac{v'_p}{v'_{(1)}}$.

1°. Sur la courbe *lll*, on prend un point dont l'ordonnée soit z, son abscisse verticale sera $\frac{v'_p}{v'_{(1)}} - 1$, si $2\,nx''=3{,}275416$.

2°. Supposons que cette équation ne subsiste pas. Alors on prend cette abscisse verticale pour la dernière ordonnée d'une courbe intermédiaire aux courbes $h\ h'\ h''$. On mesure sur la même verticale, l'ordonnée de celle des 5 courbes existante qui en approche le plus, et on fait cette proportion; cette ordonnée de la courbe existantes la plus rapprochée est à l'ordonnée de la même verticale que vient de faire connaître la courbe lll, comme l'ordonnée de la même courbe existante, correspondant à l'abscisse $2nx''$, est à l'ordonnée qui appartient à la courbe intermédiaire. Ce 4°. terme de la proportion est $\frac{v'_p}{v'_{(1)}} - 1$, à quoi il ne s'agit plus que d'ajouter une unité pour avoir $\frac{v'_p}{v'_{(1)}}$.

Au moyen de ce rapport, on trouve de suite $v'_{(p)}$; et l'on est certain que la valeur rigoureuse de la vitesse est comprise entre $v'_{(p)}$ et $v'_{(1)}$. « Quand » on aura fait plusieurs applications choisies de » ce problème, on se convaincra aisément que, » dans le *tir utile*, on peut toujours s'en te- » nir à $v'_{(1)}$. »

Voici ce que M. d'Obenheim dit de cette section en la terminant : « Quand il ne s'agit pas » d'expériences décisives, je n'en considère l'ap- » plication, dans quelques circonstances, que » comme un moyen de prouver qu'il suffit, lors-

» que la plus grande tangente ne passe pas 0,30, » d'opérer d'après la supposition de $p = 1$, ainsi » qu'on le fait dans les trois premières sections, » et que même il serait plus que vétilleux d'agir » autrement lorsqu'on ne s'occupe que du » *tir utile.* » (Mém., p. 131.)

La cinquième et dernière section ne renferme point de problèmes de tir; elle a pour objet les expériences qu'il conviendrait de faire pour déterminer le facteur m ou le coefficient de la résistance, et d'établir les relations entre les charges et les portées.

En résumant, on voit que les courbes rouges et bleues des amplitudes, et la courbe noire *aaa* des vitesses initiales, sont les lignes principales dont on peut avoir le plus fréquemment besoin, et sur lesquelles il est important de s'exercer; il serait même très-utile que l'auteur de la planchette voulût bien publier les tables d'abscisses et d'ordonnées qui ont servi à la construction de ces courbes; à l'aide de ces tables on obtiendrait, par le calcul numérique, les résultats que donne la planchette par des opérations graphiques. Les deux modes, l'un et l'autre très-précieux, pourraient au besoin se servir de contrôle mutuel.

PLANCHETTE BALISTIQUE

POUR LE TIR ÉLEVÉ,

OU

SUPPLÉMENT COMPLET DE LA PLANCHETTE DU CANONNIER.

Dans la planchette du canonnier, on a toujours admis que la direction du projectile, pendant qu'il décrit sa trajectoire, ne fait jamais avec l'horizon un angle plus grand que 16 degrés. Dans la planchette balistique ou du bombardier cet angle peut atteindre une valeur quelconque. Alors la quantité désignée par p (voy. p. 260) ne peut plus être regardée comme une constante, et encore moins être supposée égale à l'unité. On est obligé d'employer les équations générales de la trajectoire rapportées ci-dessus (p. 257), et qui ne sont susceptibles d'être intégrées que par approximation. Diverses méthodes ont été proposées : celle de M. d'Obenheim est indiquée dans sa balistique, et développée dans le Mémoire encore manuscrit sur la planchette balistique et dont est tiré ce qui suit ; elle consiste à ramener d'abord l'intégration à la recherche de l'aire

d'une courbe, et ensuite à trouver cette aire en la décomposant en trapèzes partiels ; l'étendue superficielle de chacun de ces trapèzes pouvant être évaluée avec une approximation suffisante et dont on peut apprécier le degré. La lecture du Mémoire, qui doit paraître incessamment, pourra seule donner une idée exacte de cette méthode; on doit se contenter de rapporter ici les applications que l'auteur en a faites, et on suivra la même marche que pour la planchette du canonnier. On donnera d'abord, 1°. les formules analytiques; 2°. les lignes, lieux géométriques de ces formules; et 3°. les problèmes du tir.

A. *Equations fondamentales.*

Ces équations sont au nombre de treize, les mêmes que celles qui sont consignées (p. 257). Rien n'est changé à la notation, si ce n'est qu'on fait

$\bar{x} = 2nx.$

$\bar{y} = 2ny.$

$\bar{s} = 2ns.$

$\bar{t} = \sqrt{2ng} \cdot t.$

$\bar{v} = \pm \sqrt{\frac{2n}{g}} \cdot v.$

$\bar{U} = \pm U \sqrt{\frac{2n}{g}}.$

$a =$ unité linéaire adoptée pour g, x, y, z, v.

$\bar{n} = \frac{n}{a^2}.$

Cela posé, prenant pour origine le sommet de la courbe où la vitesse est U, on aura six équations pour la branche ascendante, autant pour la branche descendante et une équation entre la constante arbitraire C et U.

BRANCHE

ASCENDANTE.		DESCENDANTE.	
$\bar{x} = -\int \frac{dz}{C-Z}$;	(1)	$\bar{x} = \int \frac{dz}{C+Z}$;	(7)
$\bar{y} = -\int \frac{zdz}{C-Z}$;	(2)	$\bar{y} = -\int \frac{zdz}{C+Z}$;	(8)
$\bar{s} = \log. \frac{C}{C-Z}$;	(3)	$\bar{s} = \log. \frac{C+Z}{C}$;	(9)
$\bar{t} = \int \frac{dz}{\sqrt{C-Z}}$;	(4)	$\bar{t} = \int \frac{dz}{C+Z}$;	(10)
$\bar{v} = \sqrt{\frac{1+z^2}{C-Z}}$;	(5)	$\bar{v} = \sqrt{\frac{1+z^2}{C+Z}}$;	(11)
$C = \frac{1+z^2}{\bar{v}^2} + Z$;	(6)	$C = \frac{1+z^2}{\bar{v}^2} - Z$;	(12)

$$U = \sqrt{\frac{1}{C}}. \qquad (13)$$

En éliminant z entre les équations (1) et (2) ou entre (7) et (8) qu'on suppose intégrées on aura une équation entre les variables $\bar{x}$ et $\bar{y}$; le lieu de cette équation sera une courbe à laquelle M. d'Obenheim donne le nom de *trajectrice*, tandis que la *trajectoire* est une courbe donnée par une relation entre x et y; mais comme l'on a $\frac{y}{x} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}}$ il est évident que la trajectrice est une courbe

semblable à la trajectoire; il y a autant de trajectrices qu'on donne de valeurs différentes au paramètre C, depuis o jusqu'à l'infini; traitant C comme une troisième variable dont l'axe passe par l'origine et perpendiculairement au plan des x, y, l'équation entre x, y, C sera celle d'une surface; on pourra lever et tracer cette surface par tranches horizontales, qui sont les trajectrices correspondantes aux diverses valeurs de l'ordonnée verticale (*a*).

Le nombre, l'étendue et la répartition des trajectrices doivent satisfaire à des conditions importantes.

Avant tout il était nécessaire, indispensable, de comprendre dans la planchette les limites du tir, et de rapprocher les *trajectrices* les unes des autres, assez pour que les recherches relatives à toutes les questions intermédiaires devinssent faciles.

Pour les plus grandes vitesses, la tangente du plus petit angle de tir a été fixée à 0,1, répondant à 5° 42′ 28″,13; et celle du plus grand angle de tir à 1,2, répondant à 50° 12′ 39″,94.

La planchette du canonnier comprenant le tir jusqu'à 15°, il y a croisement avec elle.

Et comme le tir élevé avec de *grandes vitesses*

(*a*) Tout ce qui suit, jusqu'à ces mots, Ce qui précède, etc. (p. 303), est textuellement extrait du mémoire encore inédit de M. D'Obenheim.

a pour but d'obtenir une augmentation de portée plutôt qu'une augmentation dans le choc que le projectile peut produire en retombant, quoiqu'il paraisse toujours utile d'en connaître l'intensité et la direction, il n'était pas nécessaire, pour cette espèce de tir, d'aller au-delà de 50°, attendu que l'angle qui donne le *maximum* de portée est au-dessous de 45°.

Ce n'est qu'en employant des bombes, et à une distance de 500 à 600 toises au plus, qu'on peut se proposer d'obtenir de plus fortes chutes en augmentant l'angle de tir; mais alors les vitesses initiales doivent être beaucoup moindres que les précédentes, et on verra plus tard qu'il n'y aurait presque rien à gagner en tirant au-dessus de 60°. J'ai, en conséquence, fixé la tangente du plus grand angle de tir, pour ce dernier cas, à 2,0, répondant à 63° 26′ 5″,82.

Ayant désormais à supposer fréquemment que les Z qui répondent aux z qu'on emploie sont connus, nous désirons qu'on veuille bien dès à présent jeter les yeux sur le tableau coté A(a), où cette correspondance se trouve établie pour toutes les valeurs de z qui ont servi au travail actuel, et quelques autres encore qui paraissaient nécessaires à une marche précédente que je n'ai pas cru devoir suivre jusqu'à la fin.

(a) Ce tableau sera publié avec le mémoire.

Dans la première partie du tableau, les Z ont été calculés avec douze chiffres décimaux.

Dans la deuxième partie, tous les Z ont été calculés d'abord avec 8 chiffres décimaux, et beaucoup d'entre eux l'ont été depuis avec 12 chiffres, ayant à fixer des rapports dont le premier chiffre significatif ne paraît qu'au 7e. chiffre décimal et au delà jusqu'au 10e. (En se servant de la section courante des Tables de Callet, l'erreur sur le 7e. chiffre peut être d'une demi-unité; et des additions ou soustractions de plusieurs logarithmes, ainsi que le produit à faire par 2,302585og.... pour passer aux logarithmes népériens, peuvent augmenter sensiblement cette erreur.)

La troisième partie du tableau n'a été calculée qu'avec 6 chiffres décimaux; je ne l'y ai placée que parce qu'elle contient des z intermédiaires, et qu'une pareille approximation peut suffire dans plusieurs cas.

Tous ces calculs sont en général assez longs, même très-longs, lorsqu'on y emploie 12 décimales; de sorte que, quand on a eu la peine d'en faire beaucoup, on doit profiter d'une occasion qui se présente, pour communiquer les résultats à d'autres calculateurs, afin de leur éviter la même peine, au moins en partie. Les valeurs de Z servent aussi à la rectification de la

parabole ordinaire, en prenant la moitié de son paramètre pour l'unité, et en faisant $z = y$. Ce qui peut conduire avec avantage à d'autres rectifications.

La fixation des limites relatives aux vitesses absolues dépend de n ou $\bar{n}$ (voir les premières notations). Il est, de plus, indispensable de savoir calculer rapidement cette quantité dans les épreuves où il faut tenir compte des variations de l'atmosphère, de la pesanteur effective des projectiles et de leur diamètre réel.

On a, formule (6), $C = \frac{1+z^2}{\bar{v}^2} + Z$, quand z et $\bar{v}$ répondent à un point quelconque d'une branche ascendante, et $C = \frac{1+z^2}{\bar{v}^2} - Z$, quand c'est à un point, aussi quelconque, d'une branche descendante, C ne changeant point pour cela de valeur, lorsque les deux branches appartiennent à la même *trajectrice*. Il s'ensuit que fixant $\bar{v}$ au *maximum* pour l'extrémité de la branche ascendante de chaque trajectrice à calculer, et le z du même point, la formule (6) donne directement C, ou le paramètre particulier à cette trajectrice.

Conformément aux notations adoptées, $\bar{v}^2 = \frac{2n}{fg} v^2$; ainsi, pour une même vitesse effective v, le carré de la vitesse absolue, ou $\bar{v}^2$, est en raison directe de n; et comme les valeurs de n, qui

répondent à des projectiles de même densité, quand celle de l'air ne varie point, sont en raison inverse des diamètres de ces projectiles, on voit, qu'à vitesses effectives égales, les projectiles les plus petits parmi ceux d'une même densité sont ceux auxquels répondent les plus grandes vitesses absolues.

Je n'ai pas cru qu'il pût être jamais utile de soumettre au tir élevé un projectile plein aussi faible que celui d'une livre; cependant, comme Hutton a fait des épreuves de portées avec un projectile de ce poids, à peu près, auquel il a donné des vitesses initiales, dont la plus grande était d'environ 1560 pieds de France (traduction de M. de Villantroys, p. 164), et que ces épreuves pourraient fournir par la suite un terme de comparaison, j'ai fixé le *maximum* des vitesses absolue, en prenant pour base le boulet plein d'une livre lancé avec une vitesse de 1560 pieds.

On a pour ce cas $l\bar{n} = 0{,}962928304 - 4$. En continuant d'employer les logarithmes, et en supposant $v = 1560$ pieds, on trouve aisément $\bar{v}^2 = 79{,}48$ que j'ai porté à 80 pour avoir un nombre rond, et que j'ai un peu regretté de n'avoir pas porté de suite à 81, ce qui aurait donné 9 juste pour $\bar{v}$ *maximum*.

Par la raison que $\bar{v}^2 = \frac{2n}{g} v^2$, on a réciproquement $v^2 = \frac{g}{2n} \bar{v}^2$, ou $2lv = 2l\bar{v} + lg - l2n$.

Faisant l'application de cette formule au boulet de 24, supposé avoir 24 livres, 5 de poids effectif, on trouve d'abord $l\bar{n} = 0{,}230872944-4$, et, par suite, que $\bar{v}^2 = 80$ répond pour le 24 à une vitesse effective de 2663,9 pieds.

L'application de la formule ci-dessus étant faite à la bombe de 12 pouces, pesant 152 livres avec sa charge intérieure, on trouve d'abord $l\bar{n} = 0{,}1162752 3-4$, et, ensuite, que $\bar{v}^2 = 80$ répond pour cette bombe à une vitesse effective de 3039,96 pieds.

On doit voir que jamais les vitesses effectives de la bombe, du 24 et des autres calibres en usage, ne conduiront à des $\bar{v}^2$ aussi grands que celui qui a été pris pour limite.

Le *maximum* des $\bar{v}^2$ pour l'extrémité des branches ascendantes étant ainsi fixé, je l'ai employé à une première série de *trajectrices*, en même temps que des z successifs compris entre 0,1 et 1,2 en espaçant également ces z de 0,1.

Une deuxième série, accolée à la première, se compose de quatre trajectrices, ayant à l'extrémité de leur branche descendante une même valeur de $z = 1{,}2$, et successivement pour les $\bar{v}$ correspondans $\sqrt{80}$, 7, 5 et 3.

Ces deux séries, rapportées graphiquement, forment ce qu'on peut appeler le canevas des groupes *A* et *A'* de la planchette.

Une troisième série a pour z successifs 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 et 20, avec un même $\bar{v} = \frac{3}{4}$.

Enfin une quatrième série a $\frac{1}{2}$ et 1 pour $\bar{v}$ successifs, avec une même valeur de $z = 2{,}0$.

Ces deux séries raportées graphiquement sur une échelle double des premières, et réunies à une partie de celles-ci après en avoir aussi doublé l'échelle, forment le canevas des groupes E et E', destinés principalement au tir des bombes.

On voit d'un coup d'œil la répartition précédente dans les quatre premières colonnes verticales du tableau coté B (*a*); « l'ensemble des » calculs et des opérations graphiques qui s'y » rattachent, conduit facilement à la solution de » toutes les questions qu'on peut se proposer sur » le tir, pourvu qu'elles soient comprises entre » les limites que nous avons établies. »

Ce qui précède suffit pour lire *la cinquième et dernière partie du mémoire consacré à la description et à l'usage de la planchette*; on va la transcrire en entier. Les quatre premières renferment des détails de théorie et les procédés de calcul.

(*a*) Il sera publié avec le mémoire.

CINQUIEME PARTIE.

Description et usage du tracé (V. pl. III, IV et V).

Description.

1. Le tracé occupe trois feuilles collées sur du zinc comme la planchette balistique et qu'on pourrait nommer aussi la planchette du bombardier.

C'est à la feuille du centre que se rapportent les deux autres : celle de gauche est relative aux branches ascendantes, et celle de droite aux branches descendantes; mais cette dernière contient en outre quelques courbes pour le tir vertical et le tir horizontal.

2. J'appelle groupe, chacun des systèmes de courbes accompagné de l'une des grandes lettres A, A', B, B', C, C'... etc., qu'il ne faut pas confondre avec les lettres de même forme, mais beaucoup plus petites, placées aux extrémités des trajectrices pour les désigner. Les grandes lettres non accentuées s'appliquent aux groupes qui dépendent des branches ascendantes et celles qui sont accentuées s'appliquent aux groupes analogues des branches descendantes.

Les côtés des carreaux tracés sur les 3 feuilles ont 20 millimètres.

Pour abréger, j'appellerai *horizontales* les

lignes parallèles au bas de chaque feuille, et *verticales*, celles qui leur sont perpendiculaires.

3. Les abscisses des courbes de tous les groupes sont toujours horizontales, et l'origine dans chaque groupe est indiquée par la lettre Ā, à l'exception du sommet de toutes les trajectrices (feuille du centre) qui l'est par la lettre *O*.

4. Il y a deux systèmes de groupe : le premier contient ceux qui sont accompagnés des lettres *A*,*B*,*C*,*A'*,*B'*,*C*, et le deuxième ceux qui le sont des lettres *E*,*F*,*G*,*E'*,*F'*,*G'*. Le second système appartient plus particulièrement au tir des bombes que le premier. Chaque groupe porte le nom de la lettre qui l'accompagne.

Le groupe *D* appartient aux deux systèmes; ainsi que le groupe *D'*; ils sont relatifs aux temps, le premier pour les branches ascendantes, et le second pour les branches descendantes (*a*).

5. La planchette ne contient que des résultats absolus · les $\bar{x}$ et les $\bar{y}$, qui appartiennent à des trajectrices semblables aux trajectoires effectives, y sont représentés sur une échelle commune, qui est de 100 millimètres pour un entier aux groupes *A* et *A'*, et du double aux groupes *E* et *E'*.

Les *z*, les degrés qui leur correspondent, les

(*a*) Feuille du centre : groupes *A*, *A'*, *D*, *D'*, *E*, *E'*.
— de gauche. *B*, *C*, *F*, *G*.
— de droite. *B'*, *C'*, *F'*, *G'*.

$\bar{v}$ et les $\bar{t}$ sont représentés dans d'autres groupes sur des échelles dont *il n'est pas encore nécessaire de s'occuper.*

Toutes les trajectrices ont leur sommet commun en O, et chacune d'elles est désignée par l'une des lettres A,B,C,D, etc., qui se trouve à l'extrémité de sa branche ascendante, et qui est répétée à l'extrémité de l'autre branche.

Il va sans dire que les $\bar{x}$ partent du sommet O en allant de droite à gauche pour les branches ascendantes, et de gauche à droite pour les branches descendantes.

6. Les ordonnées $\bar{y}$ des groupes A,A',E,E' sont verticales et se dirigent de haut en bas en partant de l'horizontale, passant par le sommet O, pris pour origine des coordonnées.

Dans chacun des autres groupes, les ordonnées $\bar{y}$ se retrouvent et se dirigent aussi verticalement de haut en bas, en partant de l'horizontale qui passe par le point $\bar{A}$, désignant l'origine des coordonnées de ce groupe; horizontale que, pour abréger, j'appellerai souvent la première horizontale du groupe, ou, axe des $\bar{x}$ dans les groupes A;A',E et E', axe des z dans les groupes B, B', F et F', axe des $\bar{v}$ dans les groupes C,C,G et G'. La verticale passant par le point $\bar{A}$ est l'axe des $\bar{y}$ dans tous les groupes. Une valeur quelconque de $\bar{y}$ prise dans l'un des trois groupes A,B,C, est la même dans chacun des

deux autres; cela a lieu pareillement pour les trois groupes A', B', C, les trois groupes E, F, G, et les trois groupes E', F', G', indépendamment de la valeur particulière de y dans chacun de ces assemblages de trois groupes, que je voudrais qu'il me fût permis d'appeler *trigone* par abréviation (a).

Chaque groupe contient des courbes fondamentales et des courbes secondaires.

Description des groupes sous le rapport de leurs courbes fondamentales seulement.

7. Groupe A. On sait déjà que les courbes fondamentales de ce groupe sont les branches ascendantes des trajectrices A, B, C, D, E, etc.; chaque courbe est, en général, une relation entre x et y pour un paramètre particulier C.

8. Groupe B. A chacune des branches ascendantes A, B, C, etc., du groupe A, répond une courbe désignée par la même lettre dans le groupe B; les ordonnées de celle-ci sont égales, chacune à chacune, aux ordonnées de la première, et ont pour abscisses, à partir de l'origine A',

(a) Ainsi groupes A, A', E, E', relation entre y et x.
——— B, B', F, F'. ——— z.
——— C, C', G, G'. ——— v.
——— D, D'. ——— x et t.

les valeurs de z qui, sur la trajectrice, répondent aux sommets de ces ordonnées. L'échelle des z est ici de 200 millimètres pour un entier : de sorte, par exemple, qu'il faut 200 millimètres pour représenter la tangente de 45°. Toutes les valeurs de z étant zéro au sommet commun des trajectrices, il s'ensuit que toutes les courbes du groupe *B* aboutissent à l'origine $\bar{A}$ de ce groupe.

9. Groupe *C*. On peut dire des courbes *A*, *B*, *C*, *D*, etc., de ce groupe, ce qu'on a dit des précédentes, en substituant seulement $\bar{v}$ à z. Les $\bar{y}$ se correspondent dans les trois groupes *A*, *B* et *C*, tandis que les abscisses du premier représentent les $\bar{x}$, que celles du second représentent les z, et que celles du troisième représentent les $\bar{v}$. L'échelle des $\bar{v}$ est ici de 50 millimètres pour un entier. Il est évident que chaque courbe du groupe *C* doit aboutir à un point de la première horizontale, distant du point $\bar{A}$ d'une quantité représentant la vitesse qui a lieu au sommet de la trajectoire. (Un petit trait vertical et la lettre convenable indiquent chaque point de rencontre.) Ces courbes, au reste, sont à inflexion.

10. Groupe *D*. Ce groupe contient des courbes noires et des courbes rouges, désignées par les mêmes lettres que les ascendantes qui leur correspondent dans les groupes *A* et *E*. Si d'un point quelconque de l'une de ces ascendantes on élève une verticale jusqu'à ce qu'elle ren-

contre la courbe correspondante du groupe D, la partie de cette verticale comprise entre le point de rencontre et la première horizontale, passant par le sommet O (ou l'ordonnée de la correspondante), représente le temps absolu que le projectile mettrait à parcourir ce qui reste de la branche ascendante jusqu'au sommet, sur l'échelle de 100 millimètres pour un entier. Les courbes noires répondent au groupe A et les rouges au groupe E.

11. Groupe A'. Ce groupe est pour les branches descendantes ce que le groupe A est pour les ascendantes. L'échelle commune des x et de y reste la même.

12. Groupe B'. On peut dire de ce groupe, qui appartient aux branches descendantes, ce qu'on a dit du groupe B (quoiqu'il se présente sous un aspect bien différent), excepté que l'échelle des z est quatre fois plus petite, ou de 50 millimètres pour un entier. Cette réduction était indispensable, parce que les z s'étendent beaucoup plus loin dans les branches descendantes que dans les autres; d'ailleurs elle est sans inconvénient; car, lors même qu'il s'agirait de ricochets, il ne serait pas nécessaire d'avoir les angles de chute avec une aussi grande précision que ceux du tir.

13. Groupe C. Il se forme selon les mêmes principes et avec les mêmes échelles que le

groupe *C*. Les distances *A'B'*, *A'C*, *A'D*, etc., prises sur la première horizontale à partir de l'origine, sont égales, chacune à chacune, à leurs correspondantes du groupe *C*, représentant les mêmes vitesses au sommet. Les courbes fondamentales, tracées en noir, se rapprochent tellement les unes des autres, que, pour éviter la confusion en les désignant, on s'est contenté des lettres *A*, *B*, *C*, *D*, etc., placées en tête des petits traits verticaux qui indiquent leur rencontre avec la première horizontale.

14. Groupe *D'*. Il est relatif aux temps absolus que les projectiles emploient à parcourir les différentes parties des branches descendantes, en partant du sommet. Les courbes fondamentales en noir appartiennent au groupe *B'*, et les autres en rouge au groupe *E'*; mais il faut remarquer que, pour les premières, il a fallu réduire de moitié l'échelle ordinaire des ordonnées, pour que tous les temps employés à parcourir les branches descendantes pussent tenir sur la feuille.

15. Groupe *E*. *Deuxième système*. Ce groupe contient, sur une plus grande échelle, la partie des ascendantes du groupe *A* utile à employer pour le tir ordinaire des bombes, et les nouvelles ascendantes qui suffisent à la condition de pouvoir élever le tir jusqu'à l'angle qui a 2,0 pour

tangente, c'est-à-dire, jusqu'à 63°, 26′, 5″, 8 (*a*). L'échelle commune des $\bar{x}$ et des $\bar{z}$ est de 200 millimètres pour un entier.

16. GROUPE *E′*. Ce groupe est au précédent ce que le groupe *A′* est au groupe *A*.

17. GROUPES *F*, *G*, *F′* et *G′*. On ne peut que répéter, pour ces groupes, ce qui a été dit de leurs correspondans dans le premier système, avec cette seule observation que les échelles des $\bar{x}$ restent les mêmes et que toutes les autres sont doublées.

Observations sur le tracé des courbes fondamentales des différens groupes.

18. Pour calculer les branches ascendantes et descendantes des trajectrices, on s'est donné des valeurs successives de z, et l'on est parvenu de proche en proche à trouver les $\bar{x}$ et les $\bar{z}$ répondant aux points où ces valeurs de z ont lieu. La position de chacun de ces points est donc fixée sur le tracé. On connaît $\bar{y}$ et z qui lui correspondent, et on connaît aussi $\bar{v}$ au moyen de l'équation $\bar{v} = \sqrt{\frac{1+z^2}{C-Z}}$ pour les branches ascendantes, et de l'équation $\bar{v} = \sqrt{\frac{1+z^2}{C+Z}}$ pour les branches descendantes (formules 5 et 11). Ce

(*a*) Les courbes relatives au tir à 75° ont été ajoutées depuis au deuxième système.

sont, comme on voit, en y joignant les équations (4 et 10) des temps, les bases du tracé qui nous occupe (*a*).

19. Pour assurer la courbe des trajectrices en les traçant, on a, lorsque les circonstances paraissaient l'exiger, commencé par tracer des tangentes dont la direction était donnée immédiatement au moyen des z; et, pour obtenir la même régularité (le mot sécurité suffirait), en traçant les autres courbes fondamentales, il a fallu calculer un nombre convenable de sous-tangentes.

20. Relativement aux courbes qui donnent les relations entre les $\bar{y}$ et les z, si l'on nomme S la sous-tangente placée sous la première horizontale, ou axe des z, on a $S=\frac{ydz}{dy}=\frac{\bar{y}\,(C\mp Z)}{z}$, parce que $dy=\frac{zdz}{C\pm Z}$. Cette valeur de S doit être rapportée sur l'échelle des z.

21. Quant aux courbes qui donnent les relations entre les $\bar{y}$ et les $\bar{v}$, si l'on prend la sous-tangente d'un point quelconque sur la verticale qui passe par le point $\bar{A}$, ou axe des $\bar{y}$, on a $S=\frac{\bar{v}\,dy}{dv}$. Faisant les substitutions nécessaires, en se rappelant que $\bar{v}^2=\frac{1+z^2}{C\mp Z}$, et

(*a*) L'auteur développe ces formules de manière à les approprier à ses méthodes d'approximation.

$dy = \frac{zdz}{C \pm Z}$, on parvient à $S = \frac{2z(1+z^2)}{2z(C \pm Z)+(1+z^2)^{\frac{3}{2}}}$. Cette valeur de S doit être rapportée sur l'échelle des y. On s'en est servi particulièrement pour les grandes courbes du groupe C.

Courbes secondaires dans les différens groupes.

Courbes des vitesses égales, relatives aux branches ascendantes seulement.

22. Si, pour exemple, on trace sur le groupe C la verticale qui répond au chiffre 6, indiquant $v = 6$, et que l'on ramène chaque point de rencontre de cette verticale avec les courbes fondamentales, sur la trajectrice correspondante du groupe A, on aura dans ce groupe la suite de points par lesquels passe la courbe transversale tracée en rouge, et désignée aussi par le chiffre 6. Cette courbe va rejoindre le sommet O; et, en la prolongeant par le bas, elle aboutit au point 6 de la verticale du sommet où, en tirant verticalement, il faudrait placer le point de départ, pour que le projectile arrivât en O, étant lancé avec la vitesse commune 6. Ce point a été fixé d'après la formule propre au mouvement vertical d'ascension.

23. La courbe qu'on vient de décrire est évidemment l'une des courbes de vitesses égales, particulière à $v = 6$. Si l'on se propose de tirer

avec cette vitesse, il faut absolument que le point de départ se trouve sur la courbe, pour que la trajectrice puisse avoir son sommet en O, comme les autres : nous verrons bientôt quelle doit être la direction du tir.

Il est clair que ce que nous venons de faire pour une vitesse absolue égale à 6, peut se faire avec la même facilité pour une autre vitesse quelconque. Ainsi, on peut se procurer autant de courbes des vitesses égales qu'on le jugera convenable.

On a tracé sur le groupe A celles qui répondent aux vitesses $\sqrt{80}$; 8, 5; 8; 7, 5; 7; 6, 5; 6; 5, 5; 5; 4, 5; 4; 3, 5; 3; 2, 5; 2, 1, 5, lesquelles serviront de guides quand on aura des portions de courbes intermédiaires de même espèce à tracer, indépendamment de l'utilité dont elles sont pour déterminer d'autres espèces de courbes.

24. Le groupe B contient des courbes de vitesses égales comme le groupe A, et qui se déterminent d'une manière analogue, en rapportant les points d'intersection qu'on obtient d'abord dans le groupe C sur les courbes fondamentales et correspondantes de B.

Dans le groupe A, les courbes de vitesses égales donnent, pour une même vitesse, les relations entre les y et les x; tandis que dans le groupe B elles donnent aussi, pour une même vitesse, les relations entre les y et les z. Les cour-

bes tracées dans *B* répondent, comme les premières, aux vitesses $\sqrt{80}$; 8, 5; 8, etc., dont elles portent l'inscription à l'une de leurs extrémités.

25. Il est à remarquer que la courbe $\sqrt{80}$ sur le groupe *A*, obtenue par l'opération qu'on vient de décrire, passe exactement par les extrémités des trajectrices pour lesquelles on s'était imposé les *z* employés, et la vitesse commune $\sqrt{80}$: extrémités auxquelles on n'est parvenu qu'en calculant une foule de valeurs successives de $\bar{x}$ et de $\bar{y}$.

Courbes des tangentes égales, ou z égaux, relatives aux branches ascendantes seulement.

26. Si, sur la première horizontale du groupe *B*, on prend un point répondant à une valeur quelconque de *z*, et que par ce point on abaisse une verticale, cette verticale rencontrera les courbes fondamentales répondant aux trajectrices, et les courbes des vitesses égales en une suite de points qu'il est facile de ramener, d'abord sur les courbes analogues du groupe *A*, ensuite sur les courbes fondamentales du groupe *C*, et particulièrement sur les verticales de ce groupe qui ont fait trouver les courbes des vitesses égales dans les groupes *A* et *B*. De cette manière, on obtient évidemment une courbe sur le groupe *A* et une sur le groupe *C*, qui dépendent de la même valeur de *z*.

27. La courbe sur le groupe *A* est telle que si

l'on veut tirer sous l'angle qui répond à la valeur donnée de z, et obtenir une trajectrice dont le sommet soit en O, il faut absolument que le point de départ soit sur cette courbe, et employer la vitesse initiale que nous montrerons à déterminer.

Quoique toutes les courbes de cette espèce, qu'on peut à juste titre appeler *courbes des tangentes égales*, aboutissent au sommet commun, il faut bien se garder de les confondre avec les trajectrices. Un point de départ, pris sur l'une de ces courbes, et qui ne se trouverait pas en même temps sur l'une des trajectrices, A, B, C, D, etc, produirait une trajectrice particulière, passant, à la vérité, par le point O, mais dont le tracé n'existe point sur la figure.

Si l'on conçoit une infinité de trajectrices ayant le point O pour sommet, la courbe qu'on vient de décrire rencontrera chacune d'elles en un point où la tangente à la trajectrice sera constamment égale à la même valeur donnée de z.

La courbe dont il s'agit, donne, pour une même valeur de z sur le groupe A, les relations existantes entre les $\bar{y}$ et les $\bar{x}$, tandis que sur le groupe C, elle donne les relations entre les $\bar{y}$ et les $\bar{v}$.

27. Les courbes de cette espèce, qu'on a jugé convenable de tracer sur les deux groupes, répondent aux tangentes de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 degrés, et à celle 50° 12′ 40″, qui

est 1,2. La dernière courbe sur le groupe *A* est *LMNPRO*, de laquelle partent les trajectrices *M*, *N*, *P*, *R*, dont, par cette raison, la tangente de l'angle de départ est aussi 1,2.

On ne saurait éprouver de difficulté pour tracer au besoin une partie de courbe intermédiaire, répondant à un angle quelconque.

28. Puisqu'on sait tracer une courbe répondant à une vitesse donnée, et tracer pareillement une seconde courbe répondant à une tangente aussi donnée, on peut, au moyen de l'intersection de deux portions de courbes, placer dès à présent sur la planchette le point de départ relatif à ces deux données, et connaître, en attendant mieux, les coordonnées du sommet de la trajectrice résultante.

29. Dans les groupes *E*, *F*, *G*, les courbes des vitesses égales répondent aux vitesses absolues $\frac{12}{8}$, $\frac{11}{8}$, $\frac{10}{8}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{6}{8}$, $\frac{5}{8}$ et $\frac{4}{8}$, et les courbes des tangentes égales répondent à 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 et 63° 26′ 6″. La dernière sur le groupe *E* est *TUVO*, de laquelle partent les trajectrices *T*, *U*, *V*, dont, par cette raison, la tangente commune de l'angle de départ est aussi 2, 0, répondant à 63° 26′ 6″. Du reste, sauf les modifications qui nécessitent un changement d'échelles, les courbes des vitesses et des tangentes égales se déterminent dans les groupes *E*, *F*, *G*, comme dans les groupes *A*, *B*, *C*.

30. Les courbes *LMNPRO*, et *TUVO* se retrouvent dans les groupes *C* et *G*; mais, comme cela doit être, les groupes *B* et *F* ne contiennent que les verticales dont elles dérivent. Il en est de même pour toutes les autres courbes de tangentes égales. C'est par un motif analogue que les courbes des vitesses égales ne se retrouvent point dans les groupes *C* et *G*, où elles sont remplacées par les verticales dont elles dérivent.

31. Le groupe *D* ne contient, en sus des courbes fondamentales, que les courbes des vitesses égales et celles qui correspondent à *LMNPRO* et à *TUVO*, servant, pour ainsi dire, d'enveloppes: elles sont en rouge. Les intersections de ces courbes avec les fondamentales répondent verticalement, et point par point, aux intersections des courbes de même nature dans le groupe *A*.

Il existe encore une courbe verte désignée par *M* dans chacun des six groupes *A*, *B*, *C*, *E*, *F*, *G*; mais le moment n'est pas encore venu de la décrire.

Courbes en regard des courbes secondaires.

32. Considérons l'une des courbes de vitesses égales dans le groupe *A*, et en même temps une infinité de trajectrices ayant *O* pour sommet commun. Du point d'intersection de la branche ascendante de l'une de ces trajectrices avec la

courbe des vitesses égales, menons une horizontale jusqu'à la branche descendante; le point de rencontre sera le point de chute sur l'horizontale du point de départ. En répétant la même opération pour chacun des points de la courbe des vitesses égales, on obtiendra dans le groupe *A'* une suite de points de chute, appartenant à une nouvelle courbe que j'appelle *Courbe en regard* de la première. Pour faire le tracé d'une pareille courbe avec la précision nécessaire, il suffit d'y employer les points d'intersection de la courbe des vitesses égales avec toutes les branches ascendantes des trajectrices actuelles. On a tracé par ce procédé toutes les courbes en regard de celles des vitesses égales : en un mot, les $\bar{y}$ de ces courbes sont encore les mêmes que les $\bar{y}$ qui leur correspondent dans les groupes *A*, *B*, *C*. En continuant de suivre la même marche, on a obtenu des courbes analogues dans le groupe *B'*; et si l'on n'en voit point dans le groupe *C*, c'est qu'elles n'y étaient pas indispensables, et que ce groupe est déjà assez surchargé de courbes. Toutes sont cotées comme celles des vitesses égales dont elles dérivent et tracées en rouge.

En outre de l'utilité immédiate de ces courbes quand les points de chute sont de niveau avec les points de départ, elles peuvent servir de base aux opérations qu'exigent les autres cas.

33. Les courbes analogues du groupe *D'* ont

été tracées en ramenant, sur les courbes fondamentales de ce groupe, les points d'intersection des courbes en regard du groupe A', avec les branches descendantes (elles sont en noir).

34. Les groupes E', F', sont, relativement aux courbes en regard des vitesses égales, absolument dans le même cas que les groupes A', B', quoique les limites des vitesses et des trajectrices ne soient plus les mêmes.

35. Le groupe G' contient aussi des courbes de cette espèce, quoique le groupe C n'en contienne point, parce que, l'échelle étant deux fois plus grande, il n'y avait pas là même confusion à craindre. On trouve contre ces courbes, et dans la partie la moins surchargée du groupe, les chiffres 12, 11, 10, 9, 8, etc., pour représenter $\frac{12}{8}$, $\frac{11}{8}$, $\frac{10}{8}$, $\frac{9}{8}$, etc.

36. Les courbes en regard *des tangentes égales* s'obtiennent comme il suit :

Une courbe quelconque des tangentes égales dans le groupe A rencontre toutes les courbes des vitesses égales et plusieurs trajectrices, en des points qu'il est facile de ramener horizontalement sur les courbes en regard des vitesses égales, et sur les branches descendantes, ce qui fournit les points par lesquels doit passer la courbe en regard de celle des tangentes égales que l'on considère. Toutes les courbes de la même espèce ont été déterminées de cette manière dans

les groupes A', C, E', G'; mais il se présente pour les groupes B' et F' une petite difficulté à lever. Sur l'un et l'autre groupes, les courbes dont il s'agit aboutissent à des points pris sur leur première horizontale, et dont il faut fixer la position. Pour cela, on remarquera que le point de départ sur l'une des courbes de tangentes égales étant pris infiniment près du sommet O, la vitesse, qui sous l'angle donné devra produire une trajectrice passant par ce sommet, sera infiniment petite; que la résistance de l'air, toujours proportionnelle au carré de la vitesse, devra être regardée comme nulle; que, conséquemment, la trajectrice sera une parabole qui donnera la tangente de l'angle de chute égale à celle de tir. Ainsi, dans les groupes B' et F', la distance de A à l'un des points dont il est question, n'est autre chose que la tangente de l'angle à laquelle répond la courbe des tangentes égales dont on trace la courbe en regard, tangente qu'il faut rapporter conformément à l'échelle des z, qui est de 50 millimètres pour un entier, sur la feuille de droite.

37. Nous devons aussi faire remarquer que, pour éviter de la confusion dans le groupe C, il a fallu placer chaque indication des degrés à l'extrémité d'un petit trait normal partant d'un point grossi à dessein sur la courbe analogue.

Toutes les courbes en regard des tangentes

égales sont tracées en rouge comme celles qui sont en regard des vitesses égales.

Observations générales sur les courbes en regard.

38. Lorsque la vitesse de tir correspond à l'une des courbes de vitesses égales déjà tracées, les courbes en regard de ces courbes font connaître immédiatement tout ce qui a rapport à un point de chute de niveau avec celui de départ.

Il en est de même des courbes en regard des courbes de tangentes égales.

Pour des points de chute plus ou moins élevés, elles simplifient les opérations qui restent à faire.

Le point du groupe A', en regard de celui de départ qui est placé dans le groupe A, donne la portée horizontale.

L'abscisse du point en regard dans le groupe B', est la tangente de chute.

On sait que l'ordonnée y' est la même dans les trois groupes.

Ce que nous venons de dire s'applique également aux groupes E, E', F.

L'abscisse du point en regard dans le groupe G' est la vitesse de chute dans ce second système de groupes : on saura plus tard ce qu'il faut faire pour suppléer aux courbes en regard des vitesses égales qui manquent dans le groupe C.

39. Nous avons vu qu'il était facile de tracer des portions de courbes intermédiaires dans les groupes A et E, pour des vitesses et des tangentes égales données; les portions des courbes en regard n'offrent pas plus de difficultés, de sorte qu'on peut toujours se retrouver dans le même cas et sans peine, du moment que le point de chute est de niveau avec celui de départ.

Courbe verte dans chaque groupe, désignée par la lettre M en rouge, et qu'on peut appeler courbes des plus grandes portées.

40. Si l'on mène une tangente verticale à l'une des courbes de vitesses égales dans le groupe A, et une tangente verticale à la courbe en regard dans le groupe A', les deux points de contact se trouveront dans la même horizontale, ou il s'en faudra de si peu dans quelques cas, qu'on pourra regarder la distance comprise entre les deux verticales, comme la plus grande portée horizontale qu'on puisse obtenir avec la vitesse qui répond à la courbe.

Si l'on mène pareillement deux tangentes verticales à toutes les autres courbes de même espèce, on aura dans le groupe A une suite de points de contact dont il résulte la courbe M de ce groupe; les points de contact correspondans dans le groupe A' produiront une courbe en regard de la première, appelée aussi M.

41. Or, comme les courbes des vitesses égales se retrouvent dans le groupe B, que les courbes en regard se retrouvent dans les groupes B' et C, et que les premières sont représentées par les verticales dont elles dérivent dans le groupe C, les points de contact que nous venons de considérer se ramènent aisément dans les quatre groupes B, C, B', C, et produisent une courbe analogue à M dans chacun de ces groupes.

Les courbes M se déterminent de la même manière dans tous les groupes du 2°. système.

42. Connaissant la vitesse qu'on veut employer, on cherche sur la courbe M du groupe C, un point qui réponde à cette vitesse; on ramène ce point sur la courbe M du groupe B, et la position qu'il occupe dans ce groupe fait connaître z, ou la tangente de l'angle qu'il faut employer pour que la vitesse donnée produise la plus grande portée horizontale. Les courbes M dans les groupes A',B',C,E',F',G', sont des courbes en regard qui, comme toutes les autres, font trouver la portée, la tangente et la vitesse de chute.

Courbe désignée par la lettre N, en rouge, dans le groupe A', ou courbe des moindres vitesses.

43. On a remarqué, sur chacune des courbes fondamentales du groupe C, le point le plus

rapproché de l'axe des y, ce qui a d'abord fourni une courbe dans ce groupe, et c'est le rapport de chacun de ces points sur les branches descendantes du groupe A', qui a produit la courbe N dont il s'agit. Il est curieux de saisir au premier coup d'œil sur chaque trajectrice le point où le *minimum* de vitesse a lieu.

Courbes relatives aux ascensions et aux chutes verticales.

44. Le système de ces courbes sur la planchette de droite a le même axe des $\bar{y}$ que le groupe C. Il est déduit des formules qu'on a données ci-dessus (p. 250), en y faisant les changemensconformes à la nouvelle notation. Pour les $\bar{y}$, les $\bar{v}$ et les $\bar{t}$, on a employé les mêmes échelles que pour la formation des groupes A,C,C et D.

Le point $\bar{A}$ est censé tout à la fois le sommet de l'ascension ou l'origine de la chute.

Si par un point quelconque b de l'axe des $\bar{y}$ on mène une horizontale, il se forme sur cette horizontale quatre abscisses dont le point b est l'origine. Les deux de gauche appartiennent à l'ascension, et les deux de droite à la chute.

L'abscisse qui aboutit à la courbe V, représente la vitesse absolue dont le projectile doit être animé en b, pour que l'ascension finisse en $\bar{A}$.

L'abscisse qui aboutit à la courbe T, représente la durée absolue de cette ascension.

De l'autre côté, l'abscisse qui aboutit à la courbe *V''* représente la vitesse absolue qu'a le projectile, la chute étant *A'b*.

L'abscisse qui aboutit à la courbe *T'* représente la durée absolue de cette chute.

45. Il suffit de connaître l'une des abscisses, ou l'ordonnée *A'b*, pour trouver tout le reste en un instant. Et, ce qui mérite une attention particulière, c'est que, dans le tir vertical, il suffit même de connaître la durée totale du mouvement, ou de l'ascension et de la chute réunies, pour en déduire de suite chacune des deux vitesses, chacun des deux temps et l'ascension *bA'*.

La courbe *T'* et la courbe *V'* ont chacune une asymptote verticale, conséquence des formules (8) et (9). La première passerait par le point marqué *T* sur l'horizontale 21, et la 2°. est amorcée en ligne ponctuée rouge : la courbe *V''* touche presque cette amorce vers le bas de la feuille.

Cette courbe *V'* sert de limite aux courbes des vitesses finales du groupe *C'*, qui s'en approchent assez rapidement.

Courbe relative au mouvement rectiligne, abstraction faite de la pesanteur.

46. Cette courbe est désignée par *U*, et son prolongement par *U'*.

Elle a pour axe des abscisses ou des espaces parcourus en ligne droite, la ligne verticale 31. Ses ordonnées, représentant les vitesses successives, sont conséquemment horizontales.

47. Les espaces parcourus et les vitesses sont considérés d'une manière absolue, comme pour le reste de la planchette, et désignés pareillement par $\bar{x}$ et $\bar{u}$, avec la seule attention d'employer $\bar{u}$ pour la vitesse au commencement de $\bar{x}$, et $\bar{v}'$ pour celle qui reste à la fin. L'échelle des $\bar{x}$ est de 100 millimètres pour un entier, et celle des $\bar{v}$ de 50; mais il est inutile d'employer la dernière, attendu qu'il suffit de trouver le rapport de $\bar{v}$ à $\bar{v}'$, pour une valeur de $\bar{x}$ quelconque, et que ce rapport est toujours le même, n'importe où l'on prenne l'origine de $\bar{x}$ sur l'axe des abscisses. La courbe indique suffisamment que les $\bar{x}$ se dirigent de bas en haut relativement à la feuille.

Il est aisé de voir de quelle manière il faudrait s'y prendre, si l'on avait besoin du prolongement U' de la courbe. La planchette du canonnier offre d'ailleurs plusieurs prolongemens de cette espèce.

Courbes qui servent à convertir les z en degrés et réciproquement.

48. Ces courbes, sur la feuille de gauche, ont l'axe des $\bar{y}$ du groupe B pour axe des abcisses,

et le point A' pour origine. Les degrés se comptent sur l'axe des abscisses à partir de A', et chacun est représenté par le côté d'un carreau, ou 20 millimètres. Les ordonnées sont horizontales et représentent les z sur la même échelle que dans les groupes B et F. La première partie de la courbe ne répond qu'aux 22 premiers degrés; son premier prolongement d' répond aux 22 degrés suivans, et son deuxième prolongement d'' répond aux 22 qui suivent ceux-ci; ce qui fait en tout 66 degrés. Lorsqu'un point pris sur le premier prolongement se trouve, par exemple, dans l'horizontale qui termine le 15ᵉ. carreau à partir de A', ce point indique $15+22$ ou 37 degrés; s'il était sur la même horizontale et sur le deuxième prolongement, il indiquerait $15+22+22$ ou 59 degrés. D'ailleurs, chaque millimètre répond à 3 minutes, puisque 20 millimètres répondent à 60.

49. On voit qu'étant donné un point quelconque dans le groupe B ou dans le groupe F, il ne s'agit que de le ramener sur l'axe z de l'un ou l'autre groupe et sur la courbe des degrés pour connaître tout à la fois le z et les degrés qui lui sont relatifs.

50. Une courbe de même espèce avec ses prolongemens qui s'étendent jusqu'à plus de 85 degrés, se trouve aussi sur la feuille de droite. Les degrés y sont sur la même échelle de 20 milli-

mètres pour un degré, mais l'échelle des z y est réduite au quart, ainsi que l'exige la correspondance nécessaire avec les groupes B' et F'', pour lesquels cette réduction motivée existe comme il a été dit.

Horizontales des $\bar{C}$, ou Paramètres.

51. Chacune de ces horizontales est éloignée de la première 15—15, au bas de la feuille du centre, d'une quantité égale à la valeur de $\bar{C}$ (*a*) particulière à l'une des trajectrices, et rapportée sur une échelle que l'on va connaître bientôt.

Elle est cotée à l'une et à l'autre de ses extrémités, par une petite lettre de même nom que la grande lettre qui sert à désigner la trajectrice à laquelle appartient la valeur de $\bar{C}$ en question.

Dans une première série, les horizontales des $\bar{C}$ correspondent aux 20 trajectrices successives dont la première est A et la dernière S. Et l'échelle des différentes valeurs de $\bar{C}$ est de 100 millimètres pour un entier.

Dans une deuxième série, ces horizontales correspondent aux sept trajectrices successives dont la première est Q et la dernière U; et les va-

(*a*) On met ici un petit trait au-dessus de la lettre C pour ne pas la confondre avec celle qui désigne une trajectrice ou un groupe.

leurs de $\bar{C}$ sont sur l'échelle de 25 millimètres seulement pour un entier.

Il suit de là que les horizontales qui correspondent aux trajectrices Q, R, R', S, S', sont communes aux deux séries et se trouvent placées d'après deux échelles différentes. L'horizontale r—r, par exemple, est répétée deux fois; et, comme pour R $\bar{C} = 2{,}52966097$, la première horizontale v—v est à $252^{\text{mil.}},966$, de 16 — 16, et la deuxième n'en est qu'à $63^{\text{mil.}},2415$.

Les horizontales de la première série sont en rouge et traversent entièrement la planchette; les autres sont en bleu, et ne commencent sur la droite de la feuille qu'à la verticale 8—8—8. Au reste les lettres suffiraient seules pour éviter toute méprise.

Courbes des vitesses au sommet.

51 (*bis*). Si, en partant de 8—8—8 on porte sur chaque horizontale $b, c, d, e \ldots\ldots s$, etc., la vitesse au sommet qui lui répond dans le groupe C, c'est-à-dire la distance de A à B, ou à C, ou à D, etc., on obtient une suite de points appartenant à la courbe U—U—U, à droite et au bas de la feuille du centre (comme la précédente), dont les abscisses verticales sur 8—8—8 depuis la première horizontale 15—15 sont des $\bar{C}$ ou paramètres, et les ordonnées comprises entre la courbe

et 8—8—8, sont les vitesses correspondantes au sommet commun *O*.

On pourrait tracer une pareille courbe pour la deuxième série des $\bar{C}$.

52. En terminant ainsi la description du tracé de la planchette, je crois devoir rappeler que le tableau des différentes échelles indiquées au fur et à mesure, à l'exception des deux dernières, se trouve à la fin du Mémoire.

USAGE DU TRACÉ,

Contenant la résolution des problèmes fondamentaux.

53. Quand on a bien saisi l'ensemble du tracé, et qu'on s'est un peu familiarisé avec les relations qu'établissent ses différens groupes, on pourrait à la rigueur faire de soi-même un grand nombre d'applications, pourvu qu'en même temps on se rappelât ce qui a été dit dans la quatrième partie, sur la manière de passer des x,y,v,t aux $\bar{x},\bar{y},\bar{v},\bar{t}$ et réciproquement, ayant d'ailleurs sous les yeux le petit tableau des échelles, placé à la fin du tableau coté *D*. Mais ce qui, au moins, est incontestable, c'est qu'à l'aide de ces préliminaires des exemples d'applications bien choisis se saisiront avec facilité et suffiront pour mettre entièrement au courant.

54. Avant d'en venir à des exemples, il est

nécessaire de s'arrêter aux opérations qui se répètent en tout ou en partie dans presque toutes les solutions, ainsi qu'aux moyens de tracer, sans faire de nouveaux calculs, autant de courbes fondamentales qu'on pourrait le désirer, entre toutes celles de cette espèce qui existent dans les différens groupes. Il importe aussi de convenir de quelques abréviations pour désigner certaines courbes, ou expliquer les différentes manières d'opérer.

Abréviations. — Conventions.

55. Ramener un point quelconque situé dans l'un des trois groupes A,B,C, sur une courbe ou sur une droite de l'un des deux autres groupes, c'est chercher, sur cette courbe ou sur cette droite, un nouveau point dont la valeur des y soit la même.

Cela s'applique également à chacun des trois autres trigones.

56. Le point étant situé dans l'un des quatre groupes A,A',E,E', on le ramène sur le groupe D ou D' correspondant, en le maintenant dans la même verticale.

57. Ne considérant ensuite qu'un seul groupe en particulier, ramener verticalement un point de ce groupe sur l'une de ses courbes ou sur celle des degrés d,d',d'', c'est y chercher un nouveau point sur la même verticale que le premier. L'opération se réduit toujours à prendre horizonta-

ıement la distance de ce point à une verticale rapprochée, et à reporter cette même distance horizontalement, entre la verticale et la courbe sur laquelle le point doit être ramené. Pour s'assurer qu'on a opéré avec précision, il faut maintenir la pointe du compas qui se trouve sur la courbe, et voir si le petit arc qu'on décrirait sans changer l'ouverture du compas serait tangent à la verticale.

Si au lieu de ramener le point verticalement, il fallait le ramener horizontalement, on choisirait une horizontale pour se diriger à la place d'une verticale.

58. Pour mesurer la distance d'un point à une droite, il suffit d'ouvrir le compas, jusqu'à ce qu'un arc décrit du point comme centre soit tangent à la droite. Cela suppose que la distance n'est pas assez grande pour que les pointes du compas se trouvent trop inclinées par rapport au papier.

59. Le moyen le plus simple et le plus exact de mesurer les grandes distances horizontales ou verticales, entre deux points ou deux droites, ou un point et une droite, est de compter 20 millimètres pour chaque carreau intermédiaire, et de ne mesurer que le surplus avec le compas. Si ce surplus exigeait qu'on fermât par trop le compas, on l'ouvrirait pour mesurer un carreau

de plus, et l'on compterait un carreau intermédiaire de moins.

60. Notations et figure dont l'objet est de désigner d'une manière uniforme et abrégée, les quantités qui sont données et celles qu'il s'agit de trouver dans chaque problème.

Points.	Coordonnées.	Tang.	Angles.	Vitesses.	Temps et longueur de la courbe du point au sommet.	
P	$\begin{cases} PB = DS = \bar{x} \\ PD = BS = \bar{y} \end{cases}$	z	$\bar{z}$	$\bar{v}$	$\bar{t}$	$\bar{s}$
p	$\begin{cases} pb = dS = \bar{x}' \\ pd = bS = \bar{y}' \end{cases}$	z'	$\bar{z}'$	$\bar{v}'$	$\bar{t}'$	$\bar{s}'$
q	$\begin{cases} qg = lS = \bar{x}'' \\ ql = gS = \bar{y}'' \end{cases}$	z''	$\bar{z}''$	$\bar{v}''$	$\bar{t}''$	$\bar{s}''$

$Pf = \bar{x} - \bar{x}' = X'$

$fp = \bar{y} - \bar{y}' = \bar{\ }'$

$Ph = \bar{x} + \bar{x}'' = \bar{X}$

$hq = \bar{y} - \bar{y}'' = \bar{h}$

$\bar{t} - \bar{t}' = \bar{\tau}'$

$\bar{t}' + \bar{t}'' = \tau$. (Pl. I, fig. 11.)

Si le point q était de niveau avec P, $\bar{h}$ serait zéro; et s'il était au-dessous, $\bar{h}$ prendrait le signe négatif.

Toutes les quantités du tableau sont absolues et prises positivement.

Étant rapportées sur le tracé d'après leurs échelles respectives, elles se désignent par $\bar{x}_m, \bar{y}_m, \bar{x}'_m, \bar{y}'_m, \bar{x}''_m, \bar{v}_m, \bar{h}_m, \bar{t}_m$, etc.

Nouvelles courbes que l'on peut avoir à tracer ou à indiquer par quelques points seulement dans plusieurs solutions.

Transversales et dérivées.

61. J'appelle *transversale* une ligne droite ou courbe qui coupe transversalement plusieurs trajectrices, telle que *aa* dans le groupe A. Et si l'on ramène chaque point d'intersection sur les courbes correspondantes de tous les autres groupes du même système, on obtient dans chacun une suite de points appartenans à une courbe que j'appelle *dérivée*. On voit dans chaque groupe du premier système, excepté dans C, une courbe de cette espèce, tracée en rouge. En ramenant, comme je viens de l'énoncer, les points d'intersection de la transversale sur tous les autres groupes, c'est sous-entendre que les $\bar{y}$ dans A', B', sont, chacun à chacun, de même grandeur que dans A, B, ou C; mais quand qh n'est pas zéro (fig. ci-dessus), il peut être très-utile de former les dérivées dans A', B', C', en prenant $\bar{y}''$ ou $\bar{y} - qh$ au lieu de $\bar{y}$.

Ce qui précède s'applique également au 2e. système de groupes.

62. Quand $\bar{y}$ est un peu grand, la dérivée du groupe C serait difficile à tracer à cause de l'extrême rapprochement des courbes; mais aussi,

par le même motif, elle y serait sans utilité réelle.

Épure particulière pour la recherche de nouveaux paramètres.

63. Tout ce qui est à droite de la verticale 8—8—8 sur la feuille du centre, est réservé pour la recherche graphique de quelques paramètres, autres que ceux des trajectrices fondamentales ou actuellement tracées.

Nous reportant à la transversale *aa*, je nomme *ef*, *eg*, *eh*, *ei*, les distances du point d'intersection sur la trajectrice *E*, à chacun des points d'intersection sur les trajectrices *F*, *G*, *H*, *I*.

Ensuite, si à partir de la verticale 8—8—8 on porte *ef* sur l'horizontale *f*, *eg* sur l'horizontale *g*, *eh* sur l'horizontale *h*, et enfin *ei* sur l'horizontale *i*; qu'en même temps on marque sur la verticale 8—8—8 le point où l'horizontale *e* la coupe, on aura cinq points appartenans à une courbe que j'appelle *courbe des paramètres.*

Si la transversale *aa* était une courbe, les distances *ef*, *eg*, *eh*, *ei* seraient les longueurs de quatre cordes de cette courbe, partant toutes du point *e*.

64. Un point quelconque *P*, pris sur la transversale *aa*, droite ou courbe, se ramène sur la courbe des paramètres, en cherchant sur cette

dernière courbe un point dont la distance à la verticale 8 — 8 — 8 soit égale à la distance de e à P. Le point ainsi ramené se trouve éloigné de la première horizontale du bas de la feuille, d'une quantité égale au paramètre de la trajectrice qui passerait par le point P de la transversale, sur l'échelle adoptée pour l'espacement des horizontales a, b, c, d, e....., etc. (Voyez l'avant-dernier article de la description du tracé, § 50.)

Observation générale sur cette dernière espèce de courbes et sur les dérivées.

65. Lorsqu'une courbe doit passer par cinq points aussi peu éloignés les uns des autres que ceux qui ont été déterminés pour les deux espèces de courbes dont il s'agit, la moindre habitude du dessin suffit pour que l'on puisse placer un nouveau point entre le 2e. et le 3e., ou entre le 3e. et le 4e., de manière à ce qu'il se trouve sur le lieu de la courbe, sans être obligé de la tracer, et avec une exactitude admissible pour toutes les solutions (a).

(a) On a retranché ici plusieurs paragraphes qui concernent des détails de calcul.

Questions et solutions préparatoires.

66. Première question préparatoire. Un point P étant donné sur l'une des branches ascendantes du groupe A, trouver $\bar{x}_m$, $\bar{y}_m$, z_m, $\bar{z}_m$, $\bar{v}_m$ et $\bar{t}_m$.

$\bar{x}_m$ et $\bar{y}_m$ se trouvent immédiatement, puisque ce sont les coordonnées du point.

Le reste de la solution consiste :

1°. A ramener le point P sur la fondamentale correspondante à la branche et désignée par la même lettre dans chacun des groupes B,C,D.

2°. A ramener verticalement le point obtenu dans B, sur l'axe des $\bar{z}$ de ce groupe; d'où z_m.

3°. A ramener verticalement aussi le même point sur la courbe des degrés, et de là horizontalement sur l'axe de cette dernière courbe; d'où $\bar{z}$.

4°. A ramener verticalement le point obtenu dans C, sur l'axe des $\bar{v}$; d'où $\bar{v}_m$.

5°. Enfin à mesurer l'ordonnée du point obtenu dans D, qui est $\bar{t}_m$. (Il faut se rappeler que toutes les ordonnées des groupes D et D' s'appuient sur l'axe des $\bar{x}$ passant par le sommet O des trajectrices.)

67. Observation. Si le point P était pris sur

l'une des branches ascendantes du groupe E, il ne s'agirait, dans ce qui précède, que de changer A en E, B en F, et C en G. (Il va sans dire que l'on tiendrait compte de la différence des échelles, pour revenir des $\bar{x}_m$, $\bar{y}_m$, $\bar{v}_m$ aux $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{v}$, etc., et réciproquement.)

Si le point était pris sur l'une des branches descendantes du groupe A', il ne s'agirait que de changer A en A', B en B', et C en C', et l'on obtiendrait (*Voyez* la figure du § 60) $\bar{x}_m$, $\bar{y}_m$, z''_m, $\bar{z}''$, $\bar{v}_m$, et $\bar{t}_m$. (Il ne faut pas oublier que pour A' seulement, l'échelle des $\bar{t}$ correspondans est réduite à moitié.) (Tableau des échelles.)

Enfin, si le point était pris sur l'une des branches descendantes de E', on substituerait, dans ce qui précède immédiatement, E' à A', F' à B' et G' à C, sauf ensuite à tenir compte de la différence des échelles pour le retour aux $\bar{x}$, $\bar{y}$, etc.

68. Il résulte évidemment de tout ceci, que si un point est donné sur l'une quelconque des fondamentales de l'un des groupes A,B,C,D,E,F,G, relatifs aux branches ascendantes, on en peut déduire $\bar{x}$, $\bar{y}$, z, $\bar{z}$, $\bar{v}$ et $\bar{t}$; et que s'il est donné sur l'une quelconque des fondamentales de l'un des groupes A',B',C,D',E',F',G', relatifs aux branches descendantes, on peut en déduire

x'', y'', z'', z'', v'' et t'' (voyez la dernière fig.); car un point placé sur l'une des fondamentales du côté des ascendantes se ramène directement sur A ou sur E^*, tandis que placé de l'autre côté il se ramène sur A' ou sur E', ce qui rentre dans l'une des quatre hypothèses traitées.

69. J'ai recommandé plusieurs fois dans cette question de faire attention aux échelles, parce qu'elle est la première; mais on doit être suffisamment averti maintenant, et je n'y reviendrai que dans le cas d'une application spéciale.

70. Je ne reviendrai pas non plus, hors le même cas, sur la manière de passer des z aux z_m ou réciproquement, parce que la répétition serait inutile.

Remarque générale.

71. De quelque manière qu'on soit parvenu à placer un point, isolé ou non, sur l'un des groupes et lors même qu'il ne resterait aucune trace des opérations antécédentes, il en résulterait toujours la connaissance immédiate des deux quantités qui sont les coordonnées du point : savoir, de x_m et y_m dans le groupe A; de y_m et z_m dans le groupe B; de y_m et v_m dans le groupe C; de x_m et t_m dans le groupe D; de x''_m et y''_m dans A'; de y''_m et z''_m dans B'; de y''_m et v''_m dans C'; de

x''_m et t_m dans D'. L'application au 2me. système de groupes se fait en mettant, dans ce qui précède, E à la place de A; F à la place de B, etc.

72. Il suit de là que, quand nous serons parvenus dans le cours de nos solutions à placer un point sur l'un quelconque des groupes, nous serons censés connaître celle des quantités à laquelle ce groupe est particulièrement affecté.

73. Je pense qu'avant d'aller plus loin, il sera utile de jeter un dernier coup d'œil sur l'ensemble du tracé, afin que ce que j'aurai à dire pour chaque question se classe de suite, par rapport à cet ensemble, et se devine, pour ainsi dire, au premier mot. La lecture en deviendra moins insipide, et l'on ne se chargera pas inutilement la mémoire de certains détails.

Dernier coup d'œil sur l'ensemble du tracé.

74. Si l'on prend la peine de relire la partie de la description du tracé qui est consacrée aux courbes secondaires, on verra :

1°. Qu'ayant mené dans le groupe C la verticale d'où l'une des courbes des vitesses égales a été déduite, la correspondante de cette courbe dans le groupe B, la courbe en regard dans le groupe A', et les autres aussi en regard dans la

feuille de droite, ne sont que des dérivées de la verticale du groupe C (§ 61 et 62).

2°. Que les courbes en regard dans les groupes D et D', ne sont que les dérivées des dérivées qui leur correspondent dans les groupes A et A'.

3°. Qu'ayant mené pareillement dans le groupe B la verticale d'où l'une des courbes d'angles égaux ou de tangentes égales a été déduite, la correspondante de cette courbe dans le groupe C, la courbe en regard dans A', et les autres, aussi en regard, dans les groupes B' et C', ne sont que des dérivées de la verticale du groupe B.

4°. Qu'on aurait pu mener dans le groupe D une horizontale répondant à un temps constant représenté par $\underset{m}{\bar{t}}$, et en déduire d'abord une dérivée dans A, et ensuite des dérivées de celle-ci dans tous les autres groupes du système.

5°. Que s'il avait été aussi essentiel de se donner pour le tir élevé les angles et les vitesses d'arrivée que les angles et les vitesses de départ, on aurait pu rattacher des dérivées à une verticale prise dans C', comme celle qui a été prise dans C, et à une seconde, prise dans B', comme celle qui l'a été dans B, avec les modifications qui résultent des différences qui existent entre les angles ou les vitesses de départ, et les angles ou les vitesses d'arrivée. (L'épure se serait trouvée trop

surchargée ; mais ce qui n'a pas été fait peut être remplacé, chaque fois que les circonstances l'exigent, par des amorces de courbes.)

6°. Qu'un point pris sur l'une des dérivées, étant ramené sur l'une des autres qui lui sont analogues, fait connaître au moins l'une des quantités $\bar{x}_m$, $\bar{y}_m$, z_m, $\bar{z}_m$ $\bar{v}_m$, et $\bar{t}_m$, selon le groupe où il se trouve ramené.

7°. Qu'une transversale telle que a, a, droite ou courbe (*voyez* § 61 et 62), peut être tracée sur l'un quelconque des groupes, et fournir sur tous les autres des dérivées, au moyen desquelles on peut de suite trouver sur chaque groupe l'analogue d'un point pris sur la transversale, et par conséquent celle des quantités $\bar{x}_m$, $\bar{y}_m$, $\bar{v}_m$, etc., dont on a besoin.

8°. Qu'au moyen d'une transversale et de l'épure particulière des paramètres (§ 63 et 64), on peut trouver graphiquement le paramètre d'une nouvelle trajectrice, ayant son sommet en O, comme toutes les autres, et passant par un point fixé. Que l'on peut, par une opération inverse, placer sur une transversale un point qui réponde à un paramètre donné ; ce qui conduit à trouver tant de points qu'on voudra sur la même trajectrice, en se donnant autant de transversales successives, de distance en distance.

Il va sans dire que tout ce qui précède s'applique également au deuxième système de groupes.

Avertissement essentiel.

75. Toutes les fois que dans les questions préparatoires et les problèmes suivans, nous considérons un point situé ailleurs que sur une courbe fondamentale, dans quelque groupe que ce soit, il faudra toujours supposer que ce point étant ramené sur le groupe A ou sur le groupe A', si déjà il ne se trouve placé, appartiendrait à une trajectrice nouvelle et intermédiaire qui aurait son sommet en O, comme toutes les autres. Et, demander ce qui est relatif à ce point, c'est demander ce qui y aurait rapport, s'il était effectivement sur la nouvelle trajectrice.

76. Deuxième question préparatoire. Le point P est placé sur l'une des courbes de vitesses égales tracées dans l'un des trois groupes A,B,D, ou sur la verticale du groupe C, dont elle dérive, et l'on demande tout ce qui a rapport à ce point.

Il existe dans chacun des autres groupes une courbe analogue à celle qui contient le point; ainsi ce point peut être ramené sur les autres groupes. Cela fait, tout est censé connu, indépendamment de la vitesse, qui est donnée par le choix de la courbe.

Les groupes E,F,G et la deuxième partie du

groupe D, tout dans le même cas que les précédens, relativement à cette deuxième question.

Dorénavant il faudra toujours sous-entendre que ce que je dirai des groupes du premier système est applicable à ceux du deuxième (aux échelles près), à moins qu'il ne se présente des exceptions dont j'aurai soin de prévenir.

Le moment de poser des questions concernant les courbes en regard n'est pas encore venu.

77. Troisième question préparatoire. Le point P est placé sur l'une des courbes des tangentes égales ou angles égaux, tracées dans l'un des groupes A, C, ou sur la verticale du groupe B, dont elle dérive, et l'on demande tout ce qui lui est relatif.

Les courbes des angles égaux ou des tangentes égales n'ont point été tracées d'avance dans le groupe D, parce qu'il est déjà assez surchargé; qu'il est facile, comme on le fera voir, de suppléer au besoin à cette omission volontaire; et que, dans les applications, le temps est ce que l'on cherche le plus rarement.

Une courbe analogue à celle qui contient le point, se trouve sur chacun des deux autres groupes, de sorte qu'on peut de suite avoir ce point dans les trois groupes, et connaître en conséquence $\bar{x}_m$ et $\bar{y}_m$, au moyen du groupe A, $\bar{z}_m$ au moyen du groupe B, et $\bar{v}_m$ au moyen du groupe C.

Reste à trouver $\acute{t}_m$; pour y parvenir, l'opération la plus simple consiste à mener, par le point donné ou rapporté dans *A*, une petite transversale telle que *aa*, et à placer cinq points de sa dérivée sur le groupe *D*, de manière que deux se trouvent d'un côté du point ramené sur cette dérivée et trois de l'autre. Il ne s'agit ensuite que de tracer la courbe légèrement au crayon et d'y ramener le point, si l'on n'aime mieux le placer simplement à l'œil sur le *lieu* de la courbe, pour éviter de la tracer. Comme les $\acute{t}$ sont sur une grande échelle, on doit moins craindre une erreur sensible que dans toute autre occasion.

78. Quatrième question préparatoire. Au lieu de supposer que le point *P* est placé arbitrairement sur l'une des branches ascendantes du groupe *A*, on veut l'y placer de manière à répondre, soit à une vitesse, soit à un angle, soit à un temps donné.

Relativement à la vitesse, il suffit de chercher sur la fondamentale analogue dans le groupe C, un point qui réponde à $\acute{v}_m$, et de le ramener dans le groupe *A* sur la branche.

Relativement à l'angle ou à la tangente, il suffit pareillement de chercher, sur la fondamentale analogue du groupe *B*, un point qui réponde à $\acute{z}$ ou z_m, et de le ramener comme le premier.

Et relativement au temps, on cherchera, sur la fondamentale analogue du groupe D, le point répondant à $\bar{t}_m$, et on le ramènera.

Il est clair que si l'on se donnait simplement $\bar{x}$ ou $\bar{y}$ la question se résoudrait encore plus directement.

79. Cinquième question préparatoire. La courbe sur laquelle il faut placer le point est une de celles déjà tracées pour les vitesses égales. Les analogues se trouvant dans les groupes B et D, rien n'est plus facile, en suivant une marche semblable à la précédente, que de placer le point de manière à ce qu'il réponde à un angle ou à un temps donné; et je suppose que c'est l'objet de la question.

80. Sixième question préparatoire. La courbe sur laquelle il faut placer le point est une de celles déjà tracées pour les angles égaux ou les tangentes égales.

L'angle est connu par la désignation de la courbe; de sorte que, mettant à part x ou $\bar{y}$, comme ne pouvant fournir qu'une condition trop facile à remplir, ce qui peut être imposé, c'est la vitesse ou le temps.

Si c'est la vitesse, on cherchera un point sur l'analogue à la courbe qui est tracée dans le groupe C, et on le ramènera.

Si c'est le temps, l'opération à faire consistera :

1°. A ramener dans le groupe *D* une horizontale dont la distance à l'axe des abscisses ou des x, soit t_m ;

2°. A ramener dans le groupe *A* quelques-unes des intersections de cette horizontale avec les fondamentales qu'elle rencontre dans le groupe *D* ;

3°. A tracer une dérivée, passant par les points ramenés dans le groupe *A*, laquelle coupera la courbe donnée des angles égaux ou tangentes égales au point cherché. (On sait comment on peut éviter le tracé effectif de cette dérivée.)

81. Septième question préparatoire. Un point *P* étant placé isolément sur le groupe *A*, on demande tout ce qui lui est relatif.

Les opérations à faire consistent :

1°. A mener, par le point *P*, une transversale telle que *aa* ;

2°. A déduire les dérivées de cette transversale sur les groupes *B*, *C* et *D* ;

3°. A ramener le point sur chacune des dérivées.

Il est clair qu'alors le point dans *B* donnera z_m et z', le point dans *C* donnera v_m et le point dans *D* donnera t_m. On connaît d'ailleurs immédiatement x_m et y_m.

Si le point P était placé isolément dans l'un des trois groupes B, C, D, on mènerait une transversale par ce point; on en déduirait les dérivées dans les deux autres groupes et dans le groupe A, et l'on ramènerait le point sur ces dérivées.

82. Huitième question préparatoire. On demande à placer sur le groupe A un point P qui réponde à une vitesse et à un angle donnés.

Il est évident que le point cherché est l'intersection d'une courbe de vitesses égales répondant à $\tilde{v}_m$ avec une courbe de tangentes égales répondant à z_m. (Voir la description de ces deux espèces de courbes, p. 313 et 315.)

Il suffit d'amorcer l'une et l'autre courbes en fixant cinq points de chacune, après avoir jugé, par aperçu, de leur emplacement; ce qui n'offre aucune difficulté, car on sait d'avance entre quelles courbes de même espèce déjà tracées, le point cherché doit se trouver.

83. On pourrait, mais ce ne serait qu'un objet de pure curiosité, au lieu de se donner $\tilde{v}_m$ et z_m, se donner $\tilde{v}_m$ et $\bar{t}_m$, ou z_m et $\bar{t}_m$; mais alors il faudrait connaître quelles sont les limites entre lesquelles $\bar{t}_m$ peut être choisi.

Si l'on donnait $\tilde{v}_m$ et $\bar{t}_m$, il faudrait commencer par tracer sur le groupe D une courbe de vitesses

égales à $\underset{m}{v}$, et l'on pourrait choisir pour $\underset{m}{t}$ l'une des ordonnées quelconques aboutissant à cette courbe.

Et si l'on se donnait z et $\underset{m}{t}$, il faudrait commencer par tracer sur le groupe D une conrbe des tangentes égales à $\underset{m}{z}$, et l'on serait libre de choisir pour $\underset{m}{t}$ l'une des ordonnées quelconques aboutissant à cette dernière courbe.

84. Neuvième question préparatoire. Un point P étant situé isolément dans le groupe A, il s'agit de trouver, dans une ligne droite ou courbe tracée transversalement dans le même groupe ou dans A', un second point appartenant à la même trajectrice que le premier ou P.

1°. Tracer l'horizontale qui convient au paramètre de la trajectrice à laquelle P appartient, après avoir fait passer par ce point une transversale telle que *aa*. (V. § 61 et 62.)

2°. Regarder la ligne droite ou courbe donnée dans A ou A', comme une seconde transversale, et en déduire des points d'une nouvelle courbe de paramètres au delà de la verticale 8 — 8 — 8, en partant d'un point pris sur la même trajectrice qu'en employant la première transversale, que ce soit ou non sur la même branche de cette trajectrice.

3°. Marquer le point d'intersection de cette deuxième courbe avec l'horizontale trouvée d'abord; prendre la distance de ce point à 8—8—8, et la porter comme corde, s'il est nécessaire, sur la ligne droite ou courbe prise pour seconde transversale, en partant toujours du même point, et l'on obtiendra par ce moyen le point cherché. (§ 74, 8°.)

On doit pressentir l'utilité de cette question, et la généralité qu'elle peut introduire dans la résolution de quantité de problèmes.

On doit voir aussi qu'il n'y aurait pas plus de difficultés, si les données étaient inverses, c'est-à-dire, si ce point *P* était donné dans le groupe *A'* et la ligne droite ou courbe dans *A'* ou dans *A*.

Si *P* était donné dans l'un quelconque des groupes du premier système, on commencerait par le ramener dans *A* ou *A'*; et, s'il l'était dans l'un des groupes du deuxième, on le ramènerait d'abord dans *E* ou *E'*.

Au reste, la question n'est qu'un composé des suivantes :

1°. Trouver le paramètre qui correspond à un point donnée.

2°. Placer sur une ligne donnée, droite ou courbe, le point qui répond à un paramètre aussi donné, entre les limites que comporte l'étendue de la ligne.

85. DIXIÈME QUESTION PRÉPARATOIRE. Un point isolé étant placé dans le groupe A, trouver dans la trajectrice à laquelle il appartient, et dans A ou A', un second point qui soit au-dessus ou au-dessous de son niveau d'une quantité donnée. Nous allons indiquer deux solutions.

La première est une conséquence naturelle de ce qui précède; car il ne s'agit que de prendre pour la ligne droite ou courbe donnée dans A ou dans A', une horizontale qui soit au-dessus ou au-dessous du niveau, comme on le désire.

Pour expliquer facilement la deuxième solution, je supposerai d'abord que le point cherché doit être dans le groupe A', et plus élevé que P; j'appellerai h'_m la différence de niveau.

Voici la suite des opérations dans cette hypothèse :

1°. Mener par le point P une transversale qui coupe deux branches ascendantes d'un côté de ce point et trois de l'autre.

2°. Choisir un peu au-dessous de l'extrémité la plus basse de la transversale, une horizontale parmi celles qui forment les carreaux.

3°. Mener au-dessous de cette première horizontale, une deuxième horizontale à la distance de h'_m.

4°. Prendre, pour chacun des cinq points d'intersection obtenus par la transversale, sa distance

à la 2°. horizontale, et la reporter verticalement entre l'horizontale supérieure et un point de la branche correspondante dans le groupe A'. Les cinq nouveaux points qui en résultent appartiennent à une courbe que je nommerai dorénavant, *courbe rehaussée*.

5°. Enfin, placer sur cette nouvelle courbe, un point qui soit aussi éloigné de l'horizontale supérieure que P l'est de l'horizontale inférieure. Ce point est celui que l'on cherche.

On doit voir clairement que si le point cherché était dans le groupe A, ainsi que P, les points de la courbe *rehaussée* se fixeraient sur les branches de ce groupe comme sur celles de A'.

Que s'il devait être au-dessous du niveau de P, au lieu d'être au-dessus, on emploierait deux horizontales prises au-dessus de l'extrémité supérieure de la transversale; et les distances verticales se prendraient de haut en bas, au lieu de se prendre de bas en haut. J'appellerai courbe *rabaissée*, la courbe qu'on obtient dans ce cas.

Si, par suite d'opérations antécédentes, on avait déjà fait passer une courbe de vitesses égales par le point P, on la ferait servir de transversale.

Pour connaître z', v'_m, t'_m, ou z'', v''_m, t''_m, relativement au point qu'on vient de chercher, il pour-

rait être être utile d'employer dans les groupes *B'*, *C'*, *D'*, les dérivées des courbes *rehaussées* et *rabaissées*, et cela n'offrirait aucune difficulté.

86. Si le point *P* était placé sur l'une des branches ascendantes tracées, il n'y aurait qu'une simple mesure verticale à prendre pour trouver un point plus ou moins élevé, qui serait nécessairement sur la même branche ou dans la branche descendante.

87. Mais si le point *P* était placé sur l'une des courbes d'angles égaux ou de tangentes égales déjà tracées, un point plus ou moins élevé dans *A'*, ne se trouverait pas sur la courbe en regard, qui dans ce cas ne serait d'aucun usage et ne saurait dispenser de l'une des deux solutions précédentes. Les courbes en regard de celles des angles égaux sont extrêmement utiles ; mais c'est quand le point d'arrivée est sensiblement de niveau avec celui de départ. (Le point cherché ne se trouverait pas non plus sur la courbe même dans *A'*.)

Récapitulation sommaire des dix questions préparatoires dont on vient de voir les solutions.

88. Premièrement. On demande tout ce qui est relatif à un point donné :

1°. Sur l'une quelconque des courbes fondamentales. . . . . . 1re. Question.

2°. Sur l'une des courbes de vitesses égales actuellement tracées. 2e. Question.

3°. Sur l'une des courbes de tangentes égales ou d'angles égaux actuellement tracées. . . . . 3°. QUESTION.

89. DEUXIÈMEMENT. On demande comment il faut placer un point :

1°. Sur l'une des branches ascendantes du groupe *A*, pour qu'il réponde à une vitesse, ou à un angle, ou à un temps donnés. 4°. QUESTION.

2°. Sur l'une des courbes de vitesses égales actuellement tracées pour qu'il réponde à un angle, ou à un temps donnés. . . . . 5°. QUESTION.

3°. Sur l'une des courbes déjà tracées, des angles égaux, ou des tangentes égales, pour qu'il réponde à une vitesse ou à un temps donnés . . . . 6°. QUESTION.

90. TROISIÈMEMENT. On demande :

1°. Tout ce qui est relatif à un point placé isolément sur l'un quelconque des groupes *A*, *B*, *C*, *D*. . . . . 7°. QUESTION.

2°. Comment il faut placer un point sur le groupe *A*, pour qu'il réponde à deux des trois quantités v_m, z, t_m. . . . . 8°. QUESTION.

91. QUATRIÈMEMENT. Un point étant placé isolément :

1°. Dans l'un quelconque des groupes, il s'agit de trouver sur une transversale donnée, un point qui appartienne à à la même trajectrice. . . . . 9°. QUESTION.

2°. Dans le groupe A, on demande à trouver sur la même trajectrice, et dans le groupe A', un point qui soit au-dessus ou au-dessous de son niveau d'une quantité donnée, en employant deux solutions différentes. . . . . . . 10°. QUESTION.

92. Il ne faut pas oublier qu'un point placé sur un quelconque des groupes peut être ramené sur A ou A', dans le premier système, comme sur E ou E', dans le deuxième, et que, en conséquence, plusieurs des questions posées auraient pu se généraliser davantage, si cette considération n'avait pas été sous-entendue.

93. La recherche de la vitesse au sommet, dans chaque cas, se ferait au moyen de la courbe destinée à cet usage. (§ 51.)

94. On a dû voir de quelle utilité pouvait être l'emploi des transversales dans les questions les moins simples; aussi conseillerais-je, chaque fois que la solution la plus directe d'un pro-

blème ne se présenterait pas sur-le-champ à l'esprit, de voir si une transversale ne conduirait pas assez commodément au but.

On peut toujours tracer en ligne droite une transversale *ad hoc*; et la direction qui se prête le mieux aux différentes dérivées, est celle qui fait un angle de 40 à 50 degrés environ avec les horizontales.

95. On sait que les données particulières à un problème sont variables à l'infini, et l'on trouve (*Bal.*, page 136) que le nombre des problèmes qu'on peut se proposer est de cinq cents vingt-huit, que nous serions en état de résoudre avec la planchette actuelle. Mais je ne m'occuperai, dans ce qui va suivre, que d'une partie de ceux qui me paraissent les plus utiles, en indiquant néanmoins quelquefois, et comme je l'ai fait § 82, ce qu'il y aurait à faire pour en résoudre d'autres, dont l'occasion fournirait l'idée. Cela suffira, sans doute, quand d'ailleurs on se sera familiarisé avec l'organisation générale du tracé, pour n'être embarrassé par aucune question.

Comme on sait passer des x, y, v, z, t effectifs aux $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{v}$, $\bar{z}$, $\bar{t}$ absolus, et de là aux $\bar{x}_m$, $\bar{y}_m$, $\bar{v}_m$, $\bar{z}_m$, $\bar{t}_m$ représentés en millimètres sur le tracé, et revenir des dernières quantités aux premières; que, de plus, c'est sur le tracé même qu'on opère, j'emploierai $\bar{x}_m$, $\bar{y}_m$, v_m, $\bar{z}_m$, $\bar{t}_m$, etc.,

avec et sans accens, à la désignation des quantités qui se donnent et qu'on cherche.

Nous avons déjà fait voir comment on pouvait indiquer une dérivée par points seulement, et s'en servir comme si son tracé s'effectuait; cependant, pour abréger, je dirai toujours : *Tracer une dérivée.*

Les échelles des $\bar{x}$, $\bar{y}$ et $\bar{v}$ étant doublées dans le second système des groupes, on doit le préférer, quand la vitesse initiale absolue n'est pas plus grande que 1, 5 ou $\frac{12}{8}$, et qu'en même temps l'angle de tir n'est pas au-dessous de 20°, et il faut absolument s'en servir quand cet angle passe 50°, 12', 40''.

On sait d'ailleurs comment les explications faites avec l'aide du premier système s'appliquent au deuxième.

Suite de problèmes.

96. Je range dans la classe des problèmes toutes les questions où l'on considère à la fois le point de départ et celui d'arrivée, et j'en fais deux classes. Dans la première je suppose que $\bar{h}_m$ est zéro, et dans la deuxième je suppose qu'il ne l'est pas.

On se rappellera que quand le point d'arrivée est sur une branche descendante, $\bar{X}_m = x_m + \bar{x}''_m$, $\bar{T}_m = \bar{t}_m + \bar{t}''_m$; et que s'il est sur une branche ascendante, $\bar{X}_m = \bar{x}_m + \bar{x}'_m$, $T_m = \bar{t}_m + t'_m$.

PROBLÈMES DE LA PREMIÈRE CLASSE.

Je subdivise cette première classe en trois sections, d'après la nature des données.

Dans la première il n'entre que les données relatives au point de départ *P*.

Dans la deuxième il n'entre que les données relatives au point d'arrivée *q*; dans la troisième les données sont tout à la fois relatives à *P* et à *q*.

Première section de la première classe des problèmes.

97. *Premier problème.*—On connaît $\bar{v}_m$ et z_m ou $\bar{z}$; $\bar{v}_m$ répond à l'une des courbes de vitesses égales déjà tracées, et z_m est quelconque. On demande tout le reste.

Ce qu'il y a à faire consiste :

1°. A trouver dans *B*, sur la dérivée de la courbe donnée des vitesses égales, le point qui répond à z_m ou $\bar{z}$;

2°. A ramener ce point sur la courbe donnée dans le groupe *A*, et sur la courbe en regard dans *A'*, ce qui donne le point *P* et le point *q* ;

3°. Enfin, à trouver ce qui est relatif à chacun de ces points. (Deuxième question préparatoire, § 76.)

98. *Deuxième problème.* — On connaît encore $\underset{m}{\bar{v}}$ et $\underset{m}{z}$, ou $\bar{z}$; mais $\bar{z}$ répond à l'une des courbes d'angles égaux ou de tangentes égales déjà tracées, et $\underset{m}{\bar{v}}$ est quelconque. On demande tout le reste.

Ce qu'il y a à faire consiste :

1°. A trouver dans C, et sur la dérivée de la courbe des angles égaux à $\bar{z}$, le point qui répond à $\underset{m}{\bar{v}}$;

2°. A ramener ce point sur la courbe même dans A et sur la courbe en regard dans A', ce qui donne le point P et le point q;

3°. Enfin, à trouver ce qui est relatif à chacun de ces points. (Troisième question préparatoire, § 77.)

99. *Troisième problème.* — On connaît encore $\underset{m}{\bar{v}}$ et $\underset{m}{z}$, ou $\bar{z}$; mais ces deux quantités ne répondent à aucune des courbes déjà tracées.

Ce qu'il y a à faire consiste :

1°. A placer le point P dans le groupe A, de manière à ce qu'il réponde à $\underset{m}{\bar{v}}$ et $\underset{m}{z}$. (Huitième question préparatoire, § 81.)

2°. A ramener horizontalement ce point sur le groupe A', après avoir tracé sur ce groupe la dérivée de l'une des portions de courbes employées à la recherche dudit point dans A, ce qui donne q;

3°. Enfin, à tracer sur les autres groupes les dérivées de la même portion de courbe, pour que P et q puissent y être ramenés. Le reste n'a pas besoin d'être dit.

100. *Quatrième problème.* — $\underset{m}{\tilde{v}}$ est donné; et l'on demande quelle est la valeur de z ou $\underset{m}{\tilde{z}}$ capable de produire pour cette vitesse la plus grande portée possible, de même que tout ce qui s'ensuit.

Ce qu'il y a à faire consiste:

1°. A trouver sur la courbe verte M, dans le groupe C, le point qui répond à $\underset{m}{\tilde{v}}$;

2°. A ramener ce point sur la courbe verte M dans le groupe B, ce qui donne z et $\underset{m}{\tilde{z}}$;

3°. A ramener le même point sur la courbe verte M du groupe A, et sur celle en regard du groupe A', ce qui place P et q;

4°. Enfin, à ramener ces deux points sur les courbes vertes M des autres groupes; le reste à l'ordinaire.

Deuxième section de la première classe des problèmes.

101. Les groupes relatifs aux branches descendantes ne contiennent que des fondamentales et des courbes en regard, de sorte qu'il ne s'y

trouve point de courbes tracées d'avance pour les vitesses égales et les angles égaux de cette sorte de branches. En conséquence, le seul problème que comporte la section est l'analogue du troisième problème ci-dessus. Le voici :

102. *Cinquième problème.* — On connaît $\bar{v}''_m$ et z''_m, ou $\bar{z}''_m$, et on demande toute le reste.

Quoiqu'il ne soit question que de l'inverse d'une opération décrite, nous allons nous y arrêter un peu.

Ce qu'il y a à faire consiste :

1°. A mener dans le groupe B' une verticale répondant à z''_m, et à placer sur tous les groupes les portions de courbes qui en dérivent ;

2°. A mener dans le groupe C une verticale répondant à $\bar{v}_m$, et à placer dans le groupe A' la portion de courbe qui en dérive, et dont l'intersection avec la première dérivée tracée dans ce groupe, fixe le point q ;

3°. A ramener ce point sur les premières dérivées dans D' pour avoir t''_m, et dans A pour fixer le point P ;

4°. Enfin, à ramener ce dernier point sur les premières dérivées tracées dans B, C, D. Le reste, comme à l'ordinaire, se réduit à mesurer des abscisses ou des ordonnées.

Troisième section de la première classe des problèmes.

103. Pour chacun des points P et q on ne peut établir qu'une seule donnée; car si l'on en établissait deux, le point se trouverait fixé; l'autre en résulterait immédiatement, et l'on rentrerait dans le cas des problèmes qu'on vient de résoudre.

104. *Sixième problème.*— On connaît $\bar{v}_m$ et $\bar{v}''_m$. On demande tout le reste.

Ce qu'il y a à faire consiste:

1°. A tracer dans A une portion de courbe qui réponde à $\bar{v}_m$, et sa dérivée ou courbe en regard dans A';

2°. A tracer aussi dans A' une portion de courbe qui réponde à v''_m : l'intersection de cette portion de courbe avec la dérivée premièrement tracée fixe le point q;

3°. A ramener ce point sur la portion de courbe tracée dans A, et le point P se trouve fixé. Tout ce qui peut suivre rentre dans les problèmes des deux premières sections.

105. *Septième problème.*—On connaît $\bar{v}_m$ et z''_m ou $\bar{z}''$.

On demande tout le reste.

La solution de ce problème ne diffère de la pré-

cédente, qu'en ce qu'au lieu de tracer dans A' une portion de courbe répondant à $\bar{v}''_m$, il en faut tracer une qui réponde à z''_m ou $\bar{z}''$.

106. *Huitième problème.*— On connaît z ou z_m et $\bar{v}''_m$. On demande tout le reste.

Ce problème n'est que l'inverse du précédent. Le plus simple est de commencer par tracer dans le groupe A, la portion de courbe qui répond à z_m ou $\bar{z}$ et sa dérivée dans A'.

107. *Neuvième problème.* — On connaît z_m ou $\bar{z}$ et z''_m ou $\bar{z}''$. On demande tout le reste.

Ce problème se résout comme le sixième, en employant des portions de courbes répondant à z_m et z''_m, au lieu de celles qui répondent à v_m et v''_m.

108. *Remarque.* Il serait possible d'introduire $\bar{x}_m, \bar{x}''_m, \bar{t}_m, t''_m$ parmi les données, mais cela ne pourrait avoir pour but que d'assujettir le sommet d'une trajectrice à des conditions dont je n'entrevois pas l'utilité. Au reste :

Après avoir tracé dans le groupe D une horizontale à la hauteur $\bar{t}_m$, et dans le groupe D' une autre horizontale à la hauteur $\bar{t}''_m$, on pourrait

placer dans A et A' les dérivées correspondantes.

Et si l'on traçait ensuite deux verticales, dont l'une à gauche du sommet O, à la distance x_m, et l'autre à droite à la distance x''_m, on aurait deux courbes et deux droites qui, combinées avec des dérivées de $\bar{v}_m$, z_m, $\bar{v}''_m$, z''_m, placées aussi sur A et A' fourniraient les moyens de résoudre toutes les questions dans lesquelles on emploierait deux à deux, pour données, les huit quantités $\bar{v}_m$ z_m, $\bar{x}_m$, $\bar{t}_m$, v''_m, z''_m, $\bar{x}''_m$, $\bar{t}''_m$, ayant l'attention de ne pas les prendre toutes deux à la fois du côté des ascendantes ou de celui des descendantes. Cela donnerait huit nouveaux problèmes, pour la section actuelle, qui ne seraient pas plus difficiles à résoudre que les premiers. Il se pourrait néanmoins qu'on se trouvât embarrassé si l'on n'observait pas que la verticale qui répond à $\bar{x}$ peut produire une courbe dérivée dans le groupe A'.

Ici, comme dans presque toutes les questions, il y a pour les données des limites au-delà desquelles on ne doit s'attendre à aucun résultat : on ne saurait, par exemple, se donner $x''_m > \bar{x}_m$, ni $z_m > z''_m$ quand $\bar{h}_m = o$.

Quand un résultat dépend nécessairement de l'intersection de deux courbes, et qu'on voit en

les traçant qu'elles ne peuvent se rencontrer, on reconnaît que les données ne sont point admissibles, et l'on découvre en même temps ce qu'il faudrait y changer pour qu'elles le devinssent.

109. *Dixième problème.* — On connaît X_m, ou la portée, et l'une quelconque des six quantités $\bar{v}_m, z_m, \bar{t}_m, \bar{v}''_m, z''_m, \bar{t}''_m$. On demande tout le reste.

Ce qu'il y a à faire consiste :

1°. A placer sur le groupe A, s'il s'agit de l'une des trois quantités $\bar{v}_m, z_m, \bar{t}_m$, ou sur le groupe A', s'il s'agit de l'une des trois autres, la portion de courbe qui répond à la quantité donnée, et ensuite sa dérivée sur l'autre groupe.

2°. A appuyer à la fois sur ces deux courbes, et horizontalement, les extrémités d'une droite dont la longueur soit X_m, ce qui fixe les points P et q. Le reste comme à l'ordinaire.

On voit que ce seul problème en renferme six, dont quatre sont usuels.

DEUXIÈME CLASSE DE PROBLÈMES,

Dans laquelle on suppose que $\bar{h}_m$ n'est pas zéro.

$\bar{h}_m$ est pris pour positif quand q est plus élevé que P, et pour négatif dans le cas contraire.

110. Je subdivise aussi cette classe en trois sections, et $\bar{h}$ s'emploie dans chacune.

Dans la première, il n'entre en sus de $\underset{m}{\bar{h}}$ que les données relatives à la fixation du point de départ P.

Dans la deuxième, il n'entre en sus de $\underset{m}{\bar{h}}$ que les données relatives à la fixation du point d'arrivée q.

Dans la troisième, les données en sus de $\underset{m}{\bar{h}}$ sont tout à la fois relatives à P et à q.

Pour simplifier les explications, je supposerai toujours que le point q est dans le groupe A' des branches descendantes. La marche sera la même au fond, s'il était ainsi que P dans le groupe A des branches ascendantes.

Première section de la deuxième classe des problèmes.

Les problèmes de cette section peuvent être réunis sous un titre unique, comme on va le voir.

111. *Onzième problème.* (Titre unique.) On connait $\underset{m}{\bar{h}}$ et deux des trois quantités $\underset{m}{\bar{v}}$, $\underset{m}{z}$ ou $\bar{z}$ et $\underset{m}{\bar{t}}$. Ce qu'il y a à faire consiste : 1°. A fixer la position du point P conformément à la marche adoptée pour celui des trois problèmes auquel se rapporte directement la question, quand $\underset{m}{\bar{t}}$ ne fait pas partie des données, ou à celle qui est indiquée au § 71, quand il en fait partie.

2°. A placer le point q dans le groupe A', en se servant de l'une des deux solutions que contient la neuvième question préparatoire, § 84, c'est à dire, en employant le paramètre qui convient au point P, ou une courbe rehaussée. Les points P et q étant fixés, le reste s'achève comme à l'ordinaire en tirant parti de ce qui se trouve déjà fait.

Deuxième section de la deuxième classe des problèmes.

Par les motifs déjà allégués au § 77, cette section ne comporterait qu'un seul problème, lors même qu'on ne se permettrait pas d'en réunir plusieurs en un seul.

112. *Douzième problème.* On connaît $\bar{h}_m$ et deux des trois quantités $\bar{v}''_m$, z''_m ou $\bar{z}''_m$, et $\bar{t}''_m$. On demande tout le reste :

Il est évident que ce problème est l'inverse du précédent; qu'il faut fixer d'abord le point q dans le groupe A', sans s'embarrasser de $\bar{h}_m$ et fixer ensuite le point P, en introduisant cette dernière quantité : si, par exemple, q devait être plus élevé que P, ce serait une courbe rabaissée qu'il faudrait employer dans A pour trouver ce dernier point. Le surplus comme à l'ordinaire.

Pour simplifier encore davantage les explications, je supposerai dorénavant que $\bar{h}_m$ est positif.

Troisième section de la deuxième classe des problèmes.

112 *bis*. *Treizième problème*. On connaît $\bar{h}_m$, v'_m et $\bar{v}''_m$. On demande tout le reste.

Ce qu'il y a à faire consiste,

1°. A tracer dans A une courbe qui réponde à $\bar{v}''_m$.

2°. A tracer la courbe rehaussée correspondante dans A'.

3°. A tracer aussi dans A' la courbe qui répond à $\bar{v}''_m$, et dont l'intersection avec la précédente, donnera le point q.

4°. A mener au-dessous de ce point, et à la distance $\bar{h}_m$, une horizontale dont l'intersection avec la courbe tracée dans A, donnera le point P. Le reste à l'ordinaire.

113. *Quatorzième problème*. On connaît $\bar{h}_m$, $\bar{v}_m$ et z''_m ou $\bar{z}''_m$. On demande tout le reste.

La solution ne diffère de la précédente qu'en ce qu'au lieu de mener dans A' une courbe qui réponde à $\bar{v}''_m$, il en faut mener une qui réponde à z''_m ou $\bar{z}''_m$.

114. *Quinzième problème.* On connaît $\bar{h}_m$, z_m ou $\bar{z}_m$ et $\bar{v}''_m$. On demande tout le reste.

La solution ne diffère de celle du treizième problème qu'en ce qu'au lieu de mener dans le groupe A, une courbe que réponde à $\bar{v}_m$, il en faut mener une qui réponde à z ou $\bar{z}_m$.

115. *Seizième problème.* On connaît $\bar{h}_m$, z_m ou $\bar{z}_m$ et z''. On demande tout le reste.

Ce problème se résout encore comme le treizième en employant des courbes répondant à z_m ou $\bar{z}_m$, et z'' et $\bar{z}''$ au lieu de celles qui répondent à $\bar{v}_m$ et $\bar{v}''_m$.

116. *Dix-septième problème.* On connaît X_m, ou la portée, $\bar{h}_m$ et $\bar{v}_m$. On demande tout le reste.

Ce qu'il y a à faire consiste :

1°. A tracer dans A la courbe qui répond à $\bar{v}_m$ et dans A' la courbe rehaussée correspondante.

2°. A trouver graphiquement, au bas de l'une des feuilles, l'inclinaison et la longueur de l'hypothénuse d'un triangle rectangle dont la base soit X_m et la hauteur $\bar{h}_m$.

3°. A appuyer à la fois sur les deux courbes

tracées les extrémités d'une droite de même longueur que l'hypothénuse ci-dessus, et dans une direction parallèle. C'est ce qui fixe les points P et q. Le reste à l'ordinaire.

117. *Dix-huitième problème.* On connaît X_m, $\bar{h}_m$, et $\acute{z}_m$ ou $\bar{z}_m$. On demande tout le reste.

La solution ne diffère de la précédente qu'en ce qu'il faut tracer une courbe qui réponde à $\bar{z}_m$ dans le groupe A, et la rehaussée correspondante dans le groupe A', au lieu de la courbe répondant à $\bar{v}_m$ et de la rehaussée qui en dérive.

118. *Dix-neuvième problème.* On connaît X_m, $\bar{h}_m$ et $\bar{v}''_m$. On demande tout le reste.

Ce qu'il y a à faire consiste à employer $\bar{v}''$ dans A' et sa rabaissée dans A, comme on a, dans le dix-septième problème, employé $\bar{v}_m$ dans A, et sa rehaussée dans A'. L'hypothénuse s'appuiera sur la courbe qui répond à $\bar{v}''_m$ dans A' et sur sa rabaissée dans A, ce qui donnera q et P. Le reste à l'ordinaire.

119. *Vingtième problème.* On connaît X_m, $\bar{h}_m$, et $\bar{z}''_m$ ou $\bar{z}''$. On demande tout le reste.

Le problème se rapporte au précédent, en

traçant une courbe qui réponde à $\bar{z}''_m$ dans A', et ensuite sa rabaissée dans A, au lieu de la courbe répondante à $\bar{v}''_m$ et de sa rabaissée.

Je vais terminer par un problème en dehors de ceux qu'il m'a paru suffisant de comprendre dans les deux classes annoncées.

120. *Vingt-unième problème.* On connaît le profil du terrain sur lequel s'exécute le tir, la position du point P sur ce profil, $\bar{v}_m$ et $\bar{z}_m$ ou $\bar{z}$. On demande tout le reste.

Ce qu'il y a à faire consiste :

1°. A placer le point P dans A, relativement à $\bar{v}_m$ et à $\bar{z}_m$ ou $\bar{z}$.

2°. A tracer sur l'épure, et par rapport au point qu'on vient de fixer, la partie du profil qui doit se trouver comprise entre les deux branches descendantes des trajectrices fondamentales dont les ascendantes sont de l'un et de l'autre côté de P dans A. L'échelle de ce tracé dépend, comme les quantités $\bar{x}_m$ et $\bar{y}_m$, de la valeur de n, qui convient au projectile qu'on emploie.

3°. A faire l'application de ce que contient la 9°. question préparatoire, § 83. Ce qui fixera le point q sur le profil du terrain. Ayant P et q, le reste se trouvera comme à l'ordinaire.

121. Je laisse aux lecteurs, qui auront pris quel-

qu'intérêt aux vingt et un problèmes que nous venons de résoudre, la satisfaction de résoudre eux-mêmes les analogues et inverses du dernier, dont l'extrême importance mérite de fixer l'attention.

122. Jusqu'ici j'ai regardé la connaissance de $\bar{T}_m$ ou temps total, comme un résultat que procure celle de $\bar{t}_m$ et de $\bar{t}''_m$, et non comme une donnée ; parce qu'au fait ce ne serait que curieux ; mais s'il fallait l'employer sous ce rapport, voici ce qu'il y aurait à faire, en supposant, par exemple, que pour $\bar{h}_m = 0$, on se donnât $\bar{T}_m$ et $\bar{v}_m$.

Si la feuille du centre s'étendait suffisamment dans le haut :

1°. On tracerait sur le groupe A la courbe des vitesses égales à $\bar{v}_m$, et sur le groupe A' la courbe en regard ou dérivée.

2°. Pour chacun des points d'intersection de la première courbe avec les ascendantes, on prolongerait l'ordonnée correspondante dans le groupe D qui est $\bar{t}_m$, d'une quantité égale à l'ordonnée correspondante au point en regard dans A', qui est $\bar{t}''_m$, et l'on aurait dans le groupe D, pour chacun de ces points, une ordonnée totale égale à $\bar{T}_m$, dont le sommet serait l'un des points

d'une courbe qu'on peut appeler courbes des $\bar{T}_m$.

3°. On mènerait une horizontale au-dessus de l'axe des $\bar{x}$, à une distance égale à la valeur particulière que doit avoir $\bar{T}_m$; l'on ramènerait verticalement le point d'intersection de cette horizontale avec la courbe des $\bar{T}_m$ sur la courbe des vitesses égales à $\bar{v}_m$ (groupe A), et le point P se trouverait fixé. Le reste à l'ordinaire.

A défaut d'un espace suffisant dans le haut de la feuille, on réduirait à moitié ou au quart l'échelle des $\bar{t}_m$ ou des t''_m, et cela reviendrait au même. Il faudrait se rappeler que pour le premier système des groupes, l'échelle des t''_m dans D' est déjà réduite de moitié.

123. On peut, pour chaque problème, une fois que les points P et q sont fixés, mettre le paramètre $\bar{C}$ et la vitesse U du sommet au nombre des quantités qui restent à trouver. Ces deux quantités s'obtiennent aisément d'après les paragraphes 51 et 51 *bis*, en se servant de la courbe fixe $\acute{U} — \bar{U} — \grave{U}$, et d'une courbe variable telle que $\acute{C} — C — \grave{C}$, tracées au bas de la feuille du centre, sur la droite.

124. Avec cette addition, l'un quelconque des

problèmes résolus est censé faire connaître dans toutes les circonstances possibles :

La vitesse et l'angle au point de départ ;

La vitesse et l'angle au point d'arrivée ;

La position du sommet par rapport à l'un et à l'autre des deux points ;

La portée totale ;

Le temps qu'il faut pour parvenir du point de départ au sommet, et du sommet au point d'arrivée, et par conséquent la durée totale du mouvement ;

Le paramètre de la trajectoire ;

Et la vitesse au sommet.

Il ne manque à cette énumération que la longueur développée de l'une ou de l'autre branche.

Comme cette connaissance ne saurait être utile dans les applications, je ne m'en suis point occupé en organisant le tracé, et avec d'autant plus de raison qu'il est extrêmement facile de se la procurer au moyen des formules (22) et (23), connaissant C et z, surtout lorsque z est porté sur le tableau coté A, et que, en conséquence, la fonction correspondante z se trouve calculée.

125. Un pareil calcul, cependant, ne serait pas sans utilité si on le faisait servir à la vérification du tracé des branches ascendantes et descendantes. Ayant le patron d'une courbe fait avec beaucoup de soins et d'une consistance suffisante, ainsi que la longueur développée de la courbe

obtenue par le calcul et rapportée sur la ligne droite entre deux points, on parvient à une vérification mécanique qui n'est point à rejeter, en maintenant le patron dans un plan vertical, et en faisant appliquer successivement tous les points de sa courbure sur ceux de la droite après avoir fait coïncider les deux premiers points.

126. La description des courbes relatives aux ascensions et aux chutes verticales, § 44 et 45, et celles des courbes relatives au mouvement rectiligne, abstraction faite de la pesanteur, § 46 et 47, peuvent dispenser de poser des questions sur ces deux espèces de tir, malgré l'utilité qu'on retirerait du premier dans une série d'expériences fondamentales.

127. En résolvant ces problèmes, nous avons eu principalement pour but d'en faire connaître les solutions dans leur généralité. Mais il faut observer qu'en beaucoup d'occasions, les courbes déjà tracées sur la planchette, peuvent offrir des simplifications. Et s'il s'agissait de construire des tables, on se servirait beaucoup de l'existence de ces courbes : on introduirait facilement, et partie par partie, des intercalaires entre les courbes des degrés égaux et celles des vitesses égales. Au reste, si on en venait là, je pourrais fournir quelques idées propres à simplifier la marche, et à s'assurer de sa précision.

Pour le moment, je crois avoir atteint le but

que je me suis proposé, et que j'ai annoncé d'une manière positive dans l'introduction, qu'il faudrait peut-être se rappeler, pour n'être pas tenté d'exiger de mon travail plus qu'il ne doit fournir.

Échelles du tracé, ou millimètres employés pour représenter l'unité abstraite dans chaque cas.

$\bar{x}$, groupes *A* et *Ā*.	100 mil.
$\bar{x}$, groupes *E* et *E'*.	200
y, groupes *A* et *A'*, leurs correspondans *B*, *C*, *B' C'*, et celui du tir vertical (*a*).	100
y, groupes *E*, *E'*, et leurs correspondans *F*, *G*, *F'*, *G'*.	200
$\bar{v}$, groupes *C*, *C'*, et celui du tir vertical. .	50
$\bar{v}$, groupes *G* et *G'*..	100
$\bar{t}$, le groupe *D*, et la partie du groupe *D'* qui répond à *E'*.	100
$\bar{t}$, partie du groupe *D'* qui répond à *A*, et groupe du tir vertical.	50
z, groupes *B* et *F*.	200
z, groupes *B'* et *F'*.	50

Courbe des degrés sur la feuille de gauche et sur celle de droite : 20 mil. pour un degré.

(*a*) Ce dernier groupe se compose des grandes courbes *V*, *V'*, *T*, *T'*, sur la feuille de droite.

COMPTE RENDU

D'UNE MISSION

DANS LES FONDERIES DE L'ARTILLERIE,

Dont le but était de comparer et d'étudier les effets des moteurs qui y sont employés;

PAR M. MORIN,

CAPITAINE D'ARTILLERIE.

Chargé en 1828 de la mission spéciale d'aller dans les trois fonderies royales de l'artillerie, pour étudier et comparer les effets des moteurs qui y sont employés, et autorisé à visiter les autres établissemens de l'arme, ainsi que ceux de l'industrie qui se trouvaient à proximité de ma route, j'y ai trouvé l'occasion de faire des expériences en grand sur quelques-uns des moteurs le plus en usage. Je me suis principalement proposé dans ces recherches d'apprécier l'*effet utile*, ou la *quantité d'action* réellement transmise par les différens moteurs que j'ai pu soumettre à des essais, sous l'influence des circonstances va-

riables dans lesquelles ils agissent, et d'arriver par la suite à déterminer les quantités d'actions nécessaires aux diverses opérations de la fabrication des bouches à feu. Je ne présente aujourd'hui que la première partie de ce travail, parce qu'il ne m'a pas été possible de compléter la seconde. On verra en effet qu'il faut, pour y parvenir, des observations suivies sur toute la fabrication des différens calibres; et le peu de temps que j'ai pu passer dans chacune des fonderies, ne m'a pas permis d'en recueillir un assez grand nombre, malgré toute la bienveillance que j'ai éprouvée de la part des officiers qui y sont employés.

Ce Mémoire ne contiendra donc à peu près que des résultats d'expériences sur les moteurs; mais, afin de faire apprécier le degré de confiance qu'elles peuvent mériter, j'entrerai dans le détail du calcul et de toutes les circonstances dans lesquelles elles ont été faites. Dans les applications, j'ai pris pour base les formules données par M. Poncelet, dans ses leçons sur les machines, à l'école d'application, dont une partie est lithographiée, et dont l'autre, encore manuscrite, se trouve entre les mains des officiers sortis de l'école depuis quelques années. On trouvera, lors de leur emploi, l'explication de la notation nécessaire à leur intelligence et le renvoi au cours; mais il ne peut entrer dans le cadre de ce Mémoire de rappeler les démonstrations de ces formules.

Plusieurs de mes camarades ont eu l'obligeance de me faire parvenir des observations sur des erreurs plus ou moins graves que j'ai commises dans mon précédent Mémoire. Qu'il me soit permis de les en remercier ici, en indiquant les principales modifications à faire à ce travail si imparfait, que l'absence de concurrens et l'indulgence du Comité ont fait juger plus favorablement qu'il ne méritait.

On y trouve en plusieurs endroits l'expression de *quantité de mouvement* employée pour exprimer l'élévation d'un poids à une certaine hauteur, tandis que l'on entend ordinairement par ces mots le produit d'une masse par la vitesse dont elle est animée. Il peut en résulter une confusion dans les idées, et j'aurais dû me servir des expressions consacrées, de *quantité d'action* ou de *quantité de travail*. Ce sont ces dernières que l'on trouvera toujours dans le présent Mémoire, pour rendre l'idée d'un certain nombre de kilogrammes élevés à un certain nombre de mètres de hauteur.

L'équation donnée entre la quantité d'action développée par les chevaux dans un manége, et celle qui est réellement transmise, est fausse, en ce que j'ai considéré ces quantités d'action comme des forces qui se font équilibre autour de l'axe du manége, tandis que ces quantités d'action doivent simplement être égales entre elles, en com-

prenant, dans celle qui est transmise, la quantité d'action consommée par les résistances passives. Je n'insiterai pas ici sur la rectification de cette équation, qui offre aussi d'autres erreurs; elle trouvera sa place dans les nouvelles expériences sur le manége de Strasbourg, qui feront voir aussi que j'avais estimé beaucoup trop haut l'effort de traction des chevaux dans ces machines.

Au sujet du frottement des engrenages, je m'étais servi de la formule empyrique donnée par M. Navier, et j'avais dit, d'après lui, que dans le cas de deux roues de même diamètre il n'y avait pas de glissement des dents, et que par conséquent on pouvait négliger le frottement qui se produisait dans cet engrenage. Un simple tracé prouve le contraire, et M. Poncelet a donné le premier une formule très-simple, pour exprimer la valeur moyenne de l'effort qui est employé à vaincre ce frottement. On la trouvera mise en usage dans plusieurs endroits de ce Mémoire.

Quelques autres erreurs moins graves devraient aussi être relevées; mais comme le Mémoire suivant embrasse à peu près tout ce qui, dans le précédent, était relatif aux moteurs, et contient beaucoup d'applications des règles pour le calcul des frottemens, nous n'entrerons pas dans des rectifications désormais sans utilité. J'ai tâché de rendre moins imparfait que le précédent, le travail que j'offre aujourd'hui à mes camarades;

mais je m'estimerai heureux s'ils veulent bien encore m'éclairer de leurs avis.

La bienveillance des officiers employés dans les fonderies et les autres établissemens de l'artillerie m'a été du plus grand secours, et c'est à l'aide de leurs conseils et de leurs soins que j'ai pu exécuter une partie des expériences, et recueillir les résultats que l'on trouvera dans ce Mémoire. Je les prie d'en recevoir tous mes remercîmens. J'ai trouvé dans les établissemens de la marine et dans beaucoup d'usines industrielles, mais surtout dans le Haut-Rhin, l'accueil le plus obligeant et une foule de renseignemens utiles que je regrette de ne pouvoir rapporter ici, parce qu'ils sortiraient du cadre de ce travail; mais c'est particulièrement à MM. Schlumberger que j'ai les plus grandes obligations. Ces messieurs ont bien voulu, à ma prière, faire construire un frein pour les expériences que l'on trouvera sur leur roues hydrauliques, et l'un d'eux m'a continuellement assisté dans ces opérations, qui ont été reprises à deux années différentes.

J'ai déjà dit que les cours de M. Poncelet, à l'École d'application, m'avaient servi de guide dans le calcul des expériences rapportées dans ce Mémoire; mais je dois au moins autant à ses conseils et à sa bienveillance : qu'il me soit permis de lui en témoigner ici ma reconnaissance.

De l'emploi du frein dynamométrique.

Nous ferons précéder le compte que nous allons rendre de nos expériences, de quelques observations sur l'emploi de l'appareil connu sous le nom de *frein dynamométrique*, que M. de Prony a le premier employé à la mesure de la quantité d'action transmise par un arbre tournant.

Il consiste principalement, comme on sait, en deux pièces, ordinairement de bois, *ab*, *cd*, (Pl. VII, fig. 2), qui embrassent un arbre tournant, sur lequel elles sont serrées au moyen de boulons, de manière à déterminer un frottement, dont la résistance consomme une quantité d'action ou de travail égale à celle que le moteur transmet. Un poids *p* suspendu en *b* fait sans cesse équilibre au frottement, qui tend à l'entraîner dans le sens du mouvement de l'arbre. M. de Prony a donné une théorie de cet appareil, et l'on peut arriver aux mêmes conclusions que lui par un raisonnement très-simple, fondé sur le principe de la transmission du mouvement.

En effet, lorsqu'une machine est parvenue à un mouvement uniforme, la variation des forces vives pendant un temps quelconque étant nulle, il est clair qu'il doit y avoir à chaque instant égalité entre la quantité d'action ou de travail transmise

au récepteur, les forces vives consommées par les résistances passives et par l'ouvrage exécuté, quelle que soit d'ailleurs la nature de cet ouvrage. Ainsi, lorsqu'une roue hydraulique, par exemple, soumise à l'action d'un cours d'eau, prend une certaine vitesse uniforme, la quantité d'action qu'elle utilise n'est qu'une portion plus ou moins grande de celle qui est dépensée par le moteur, et cette partie, qu'on appelle l'*effet utile*, doit être égale à ce qui est dépensé par les résistances passives et par l'opérateur, quel que soit l'outil, que ce soit un laminoir, un tour, une meule ou un frein. La quantité d'action consommée par l'outil est le travail disponible transmis par la machine, et si, au lieu de cet outil, nous adaptons un frein à l'un des arbres tournans, et qu'avec la même dépense de force absolue du moteur, le mouvement ne s'accélère ni ne se ralentisse, la somme des forces vives n'aura pas varié, et la quantité d'action consommée par le frottement qui se produit entre les pièces du frein, augmentée de celle qui est employée à vaincre les résistances passives, sera encore égale à celle qui est transmise au récepteur. Il faut donc connaître cette quantité d'action consommée par le frottement des pièces du frein contre l'arbre, pour avoir la mesure de l'effet utile du moteur. Or, si nous considérons l'équilibre qui a lieu sans cesse entre le poids suspendu au levier du frein

et le frottement produit entre ses mâchoires, il est facile de voir que le produit de la résistance du frottement et de la vitesse à la circonférence de l'arbre tournant, produit qui exprime la quantité d'action dépensée par ce frottement, sera sans cesse égale à celui du poids suspendu au frein, par la vitesse que tendrait à prendre autour de l'axe le point de suspension, si le levier était solidaire avec l'arbre. En effet, puisque le frottement produit sur l'arbre fait équilibre au poids p, en nommant r le rayon de la partie tournante et frottante de l'arbre, L la distance horizontale de l'axe de rotation à la verticale qui passe par le point de suspension de p, on aura toujours, en appelant F ce frottement,

$$Fr = pL.$$

ou en désignant par n, le nombre de révolutions de l'arbre par seconde

$$n\ F.\ 2\pi r = n.\ p\ 2\pi L$$

Or, $n.2\,\pi L$ est précisément le chemin que parcourrait le poids p, s'il marchait avec l'arbre tournant. Ainsi, la quantité d'action ou de travail consommée par le frottement qui a lieu entre les mâchoires du frein, est sans cesse mesurée par le produit du poids p, par la vitesse que son point d'application prendrait s'il participait au mouvement, et cela est vrai, quel que soit

d'ailleurs, pour les substances en contact, le rapport du frottement à la pression produite à l'aide des boulons. Cette quantité d'action donnée par le frein, doit être augmentée dans chaque cas, de celle qui est consommée par les résistances passives de la machine, sur lesquelles le poids et les dimensions même de l'appareil dynamométrique exercent une certaine influence. On verra dans la suite plusieurs exemples de calcul de ces résistances passives.

Le frein employé par M. de Prony dans ses expériences sur la machine du Gros-Caillou, était composé de manière que ses différentes pièces se trouvaient en équilibre autour de l'axe de rotation, de sorte que le poids additionnel, suspendu à l'extrémité de son levier, indiquait seul l'effort de la machine, rapporté au point de suspension. Mais il est clair que cette condition n'est pas de rigueur; car on peut toujours regarder le poids du système comme partagé en deux parties, dont l'une passe sur l'arbre et augmente le frottement produit par la pression des boulons, et dont l'autre s'ajoute au poids p. Il suffira donc de connaître cette dernière et de la joindre à p, pour pouvoir considérer tout l'appareil du frein comme un levier géométrique sans pesanteur. Pour cela, il n'y a qu'à faire reposer, d'une part, la partie frottante sur un couteau ou sur une vive arête, dont la position corresponde à

la trace d'un plan vertical, passant par l'axe de l'arbre horizontal sur lequel le frein est monté, et de l'autre, le crochet d'attache du poids p dans le plateau d'une balance, au moyen de laquelle on mettra le levier en équilibre, de manière qu'il soit horizontal. Il est évident que le poids qui le soutient dans cette position est égal à la composante du poids total du système qui doit être ajouté à p : c'est ce que, dans nos expériences, nous avons nommé la charge constante du frein.

Le frottement produit au moyen des boulons, entre la surface de l'arbre et les mâchoires du frein, n'étant jamais qu'une portion de la pression exercée par ces boulons, et son moment devant être égal à celui du poids soutenu à l'extrémité du levier ab, on voit que pour une même force de la machine, plus le rayon de l'arbre sera petit, plus la pression à exercer par les boulons devra être grande. Il importe donc que ce rayon soit assez grand pour ne pas obliger à produire des pressions excessives, que l'on ne pourrait pas toujours exercer, ou qui altéreraient la surface de l'arbre, et nuiraient à la fois à sa solidité et à la régularité de l'expérience. On sait, en effet, qu'au delà d'une certaine pression, les corps en contact se rodent, et Colomb a déterminé, pour quelques substances, la limite de la pression qu'elles peuvent supporter sans altération. C'est

probablement faute d'avoir eu égard à cette propriété des corps que beaucoup de personnes, qui ont voulu employer le frein, n'ont pas réussi à obtenir des oscillations légères et sans secousses, et c'est par la même raison que le bois, dont la surface est facile à attaquer, ne convient pas pour les surfaces frottantes des mâchoires et de l'arbre. Pour augmenter le diamètre de l'arbre et éviter le frottement du bois, il devient souvent nécessaire de monter sur ces arbres un manchon d'un diamètre assez grand, que l'on tourne ensuite sur place. Il ne serait pas difficile de soumettre ses dimensions au calcul; mais nous nous contenterons d'indiquer quelques résultats qui pourront servir de limites approximatives, ce qui suffira dans la pratique, pour être sûr que l'appareil sera capable de mesurer la force du moteur mis en expérience.

Sur un arbre en fonte, de $0^m,16$ de diamètre, on peut, à la vitesse de 20 à 30 tours par minute, mesurer une force de 6 à 8 chevaux (vapeur.)

Sur un arbre de $0^m,30$ à $0^m,40$, avec une vitesse de 15 à 30 tours par minute, on peut mesurer une force de 15 à 25 chevaux.

Sur un arbre ou manchon de $0^m,65$ à $0^m,80$, avec une vitesse de 15 à 30 tours par minute, on peut mesurer une force de 40 à 60 chevaux.

Pour qu'il y ait constamment équilibre entre

le poids suspendu au levier du frein et l'effort du frottement, dont le rayon est constant, il importe que le bras de levier de ce poids *p* soit toujours le même, et que par conséquent la pièce *ab* du frein soit horizontale ; car, dès qu'elle s'élève ou s'abaisse au delà de cette ligne, la perpendiculaire menée du centre de rotation sur la direction verticale du poids *p* diminue, et, lorsqu'aucun obstacle fixe ne s'y oppose, le levier du frein et les poids sont entraînés dans le mouvement de rotation, et peuvent occasioner des accidens très-graves, soit pour les opérateurs, soit pour la machine. Pour retenir le frein et ne permettre à son levier que de faibles oscillations au-dessus et au-dessous de l'horizontale, on s'est contenté, dans beaucoup de cas, de l'arrêter dans ses écarts avec une corde attachée à des points fixes ; mais ce moyen offre assez peu de sécurité, et il est arrivé plusieurs fois, dans nos premières expériences, que la corde a cassé et que le levier a tourné avec l'arbre. Un moyen plus sûr consiste à disposer en avant et en arrière de l'arbre tournant, du côté du petit et du grand bout du levier du frein, des chantiers sur lesquels il vient s'appuyer dès qu'il s'écarte un peu de l'horizontale. Il en résulte qu'il trouve des points d'appui qu'il ne peut écraser, et que, si par une circonstance fortuite le frottement est trop fort, le levier ne peut être

entraîné dans le mouvement, et il y a au plus rupture des mâchoires ou des boulons, ce qui ne peut entraîner d'accident. Depuis que l'on a employé cette disposition, il ne s'est plus présenté de danger dans aucune de nos expériences. On trouve en outre à cette disposition l'avantage, qu'en ne laissant que peu de jeu au levier du frein au-dessus et au-dessous de l'horizontale, on a des limites assez rapprochées, entre lesquelles il doit osciller légèrement pour que l'expérience soit satisfaisante.

On trouve, dans le Bulletin de la société industrielle de Mulhouse, une modification de l'appareil de M. de Prony, proposée et exécutée par M. Fourneyron, ancien élève de l'école des mineurs de Saint-Étienne; elle consiste principalement en un arc de cercle concentrique à l'axe de rotation et adapté au levier du frein, de sorte que le mouvemment du poids *p* reste constant. Le levier garni de cet arc est placé en sens contraire de celui de M. de Prony, c'est-à-dire que le frottement de l'arbre tend à l'abaisser au lieu de l'élever; il faut donc le soutenir au moyen d'une corde qui passe sur une poulie de renvoi, et à laquelle est suspendu un plateau chargé de poids. Cette disposition est ingénieuse; mais elle a l'inconvénient d'introduire dans les expériences des résistances étrangères, dues à la roideur des cordes et aux frottemens des poulies sur leur axe. Cependant,

comme dans quelques localités on ne peut pas placer le frein de manière que le frottement tende à le soulever, il peut être utile d'employer le procédé de M. Fourneyron.

Il convient en général, pour la régularité des expériences, que les parties frottantes du frein et de l'arbre soient en métal; quelquefois on adapte au grand bras du frein un coussinet en métal, ou une échantignole en bois garnie de tôle, et l'on fait passer sous l'arbre une bande de tôle forte, qui s'accroche aux boulons de pression. Lorsqu'il y a peu de place disponible sous l'arbre, cette disposition est très-convenable; mais elle a l'inconvénient que l'action des clefs sur les boulons tendant à les faire tourner, la bride se tord un peu et mord par les côtés sur la surface de l'arbre; quand on a la place nécessaire, il vaut mieux passer sous l'arbre une pièce de bois garnie de tôle ou un coussinet en métal, lié à la pièce supérieure par les boulons de pression qui les traversent l'une et l'autre. Dans tous les cas, il convient de placer sous les écrous et sous la tête des boulons de larges rosettes, lesquelles s'opposent à la pénétration dans le bois, qui consommerait inutilement une portion de la force employée à produire le frottement.

On est souvent obligé d'interrompre les expériences pour laisser refroidir les pièces en contact, parce que la chaleur qui se développe pro-

duirait l'inflammation du bois; il faut aussi avoir soin d'arroser constamment pendant l'opération, et de percer un trou dans la pièce supérieure pour y introduire de l'eau ou de l'huile.

Nous terminerons ces détails pratiques sur l'emploi du frein, en recommandant de laisser marcher la machine pendant quelques minutes avant d'observer les tours que fait l'arbre tournant, et de les compter à plusieurs reprises, afin d'être sûr que le mouvement est uniforme; cette précaution est très-importante, surtout dans les machines puissantes où l'arbre tournant marche vite, parce que lorsqu'on commence à produire la pression des mâchoires du frein contre l'arbre, la force vive acquise par les pièces de la machine, force dont elles perdent une partie en ralentissant leur mouvement, concourant, avec la quantité d'action transmise au moteur, pour vaincre le frottement du frein, tendrait à faire apprécier trop haut l'effet du moteur. Ce n'est que quand la machine est parvenue à l'uniformité, qu'il n'y a plus de variations dans la force vive de ses parties, et que la quantité d'action, utilisée par le récepteur, équivaut réellement à la somme de celles qui sont consommées par le frein et par le frottement.

Expériences sur les manéges de la fonderie de Strasbourg.

Ces manéges sont d'une construction très-simple, et l'on en trouve la description complète et les dessins dans l'ouvrage de Dartein, sur les procédés en usage dans les fonderies; nous nous abstiendrons d'entrer dans les détails de leur mécanisme, et nous nous contenterons de rappeler qu'ils se composent d'un arbre vertical armé de barres horizontales auxquelles les chevaux sont attelés par des palonniers, et qui porte un grand rond horizontal en bois; ce rond conduit une lanterne placée de champ, et dont l'arbre s'accouple au moyen d'un manchon, avec la bouche à feu que l'on veut forer ou tourner, et l'entraîne dans son mouvement.

Pour l'exécution de nos expériences, nous avons fait monter sur le banc une masselotte du poids de 1295 kilogrammes, dont l'une des extrémités reposait par une portée sur une lunette, tandis que l'autre était engagée dans un manchon lié à l'arbre de la lanterne; après avoir mis cette masselotte en place, on tourna avec soin une partie de sa surface, pour pouvoir y adapter le frein, qui se composait d'une pièce de sapin de $3^{m},5$ environ de longueur, garnie d'un coussinet en chêne doublé de tôle; une bande de tôle forte enveloppait la masselotte par-dessous, et s'accrochait par ses deux

extrémités aux boulons qui traversaient la poutrelle.

Un plateau de balance était suspendu à un crochet placé à 3m du plan vertical passant par l'axe de la masselotte; on empêchait le levier du frein de s'élever trop au-dessus de l'horizontale, au moyen d'une corde attachée à un crochet scellé dans le pavé de l'atelier, et on le soutenait au-dessous de cette même ligne par un chevalet.

Dans les expériences dont nous allons rendre compte, on faisait varier à volonté les poids qui composaient la charge du frein, et l'on mettait le manége en mouvement sans presser les chevaux, et en les tenant seulement à une allure modérée. Ils travaillaient toujours pendant tout le temps d'une reprise ordinaire de trois heures; et on ne commençait à tenir compte de l'effet produit, qu'après les avoir fait marcher au moins un quart-d'heure, afin d'obtenir un mouvement plus régulier; ceux qu'on attelait étaient des chevaux faits et quelques-uns même étaient hors d'âge; ils avaient été pris parmi les chevaux d'un escadron du train soupçonnés de la morve; mais la plupart avaient bien supporté, pendant plusieurs mois, le service de la fonderie, et ils étaient même en meilleur état que quand ils y étaient entrés.

Il est facile de voir que, pour pouvoir conclure de nos expériences, le travail qu'un cheval déve-

loppe dans un manége, il aurait fallu les prolonger pendant plusieurs mois, afin de s'assurer si ces animaux ne fatiguaient pas trop, et pour trouver le travail moyen qu'on pouvait en exiger. Le service de la fonderie, et le peu de temps que je pouvais passer à Strasbourg, ne me permirent pas d'entreprendre de si longues observations; il fallut donc renoncer à cette appréciation directe, et se borner à tirer, des expériences que l'on pouvait faire, quelques conclusions utiles sur la limite supérieure du travail que l'on peut attendre dans un manége, de bons chevaux dans un état moyen d'âge et de santé.

Nous indiquerons dans la suite de ce Mémoire une marche plus sûre qui, à l'aide des observations dans les autres fonderies, nous permettra d'arriver à la valeur moyenne du travail développé par le cheval dans ces manéges; mais ce n'est pas ici le lieu d'anticiper sur cette question, et nous passons de suite au détail des expériences.

Le poids du frein, rapporté au crochet de suspension du plateau qui portait les poids, était de 18 kil., celui du plateau était de 2 kil., ce qui formait une *charge constante* du frein égale à 20 kilogrammes. Les poids qu'on ajoutait dans le plateau étaient ce que nous avons appelé la *charge variable*.

La vitesse que le crochet du frein tendait à prendre, se déduisait du nombre de tours de

la masselotte, observés directement à l'aide d'une montre à secondes mortes.

La quantité d'action transmise au frein était le produit de cette vitesse par la charge totale du frein ; c'est ce que nous avons appelé la *quantité d'action ou de travail disponible.*

L'effort total des chevaux s'obtenait ensuite au moyen des formules que nous donnerons plus loin, et l'on en déduisait facilement la *quantité d'action* qu'ils dépensaient, et par suite celle qui était consommée par les résistances passives.

En divisant la quantité d'action ou de travail dépensée par les chevaux par leur nombre, on a obtenu le travail de chacun d'eux, à la vitesse observée de la machine. Afin de ramener ces quantités à un même point de comparaison, nous avons supposé que les efforts étaient en raison inverse des vitesses, ce qui est assez généralement admis entre certaines limites, et ce qui peut l'être d'autant plus ici, que les vitesses observées s'écartent fort peu de celle d'un mètre que nous avons prise pour terme de comparaison. Nous avons aussi obtenu par-là l'effort de traction exercé, à cette vitesse d'un mètre par seconde.

Passons maintenant à la marche que nous avons suivie pour tenir compte des résistances actives et passives, et arriver à une expression simple de l'effort total exercé par les chevaux,

dans laquelle il n'y eut plus qu'à substituer les données de chaque expérience.

Soient

F la charge totale du frein;

L la distance horizontale entre l'axe de la masselotte et le crochet du frein;

Q le poids de la masselotte;

$\rho_{,}$ la moyenne arithmétique entre le rayon de la portée et celui du tourillon de l'arbre de la lanterne;

$f_{,} = \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$ f étant le rapport du frottement à la pression pour un axe de fer sur un coussinet de cuivre;

q le poids de la lanterne et de son arbre;

P'' l'effort transmis à la circonférence primitive de la lanterne;

R'' le rayon de cette circonférence primitive;

ρ'' le rayon des tourillons de l'arbre de la lanterne.

Lorsque le mouvement du manége est parvenu à l'uniformité, il est évident que la quantité d'action ou de travail transmise à la circonférence primitive de la lanterne, doit à chaque instant être égale à la somme des quantités d'action consommées par la charge du frein et par les frottemens.

La masselotte qui portait le frein reposant par une de ses extrémités sur une portée que l'on y avait tournée, et de l'autre sur le cous-

sinet de l'arbre de la lanterne, auquel elle était liée par une griffe; on peut sans erreur sensible considérer la charge comme également répartie entre ces deux appuis, et par suite prendre pour rayon moyen de ses deux supports la moyenne arithmétique entre celui de la portée, qui est de $0^m,164$, et celui du tourillon de l'arbre qui est $0^m,0825$, ce qui donne $\rho_{\prime}=0^m,123$.

La pression sur cette portée moyenne sera

$$(Q+F)(a);$$

et le frottement qui en résultera à sa circonférence sera

$$f_{\prime}(Q+F)^{\text{kil.}}.$$

Sur les tourillons de la lanterne, la pression

(*a*) La charge *F* du frein se compose, comme nous l'avons vu, d'une quantité constante de 20 kil., dans laquelle le poids du levier, rapporté au crochet, entre pour 18 kil. A la rigueur, ce n'est pas cette partie seule du poids du levier qui pèse sur les appuis de la masselotte, mais bien le poids total de ce levier, qui, en le supposant prismatique et homogène en serait juste le double; mais on voit que l'erreur que l'on commet est très-peu de chose et tout-à-fait négligeable, car cette partie de *F* est toujours très-petite par rapport à *Q*, comme il serait facile de s'en assurer par le calcul. Nous avons été obligé d'admettre cette approximation, parce que nous n'avons pas observé le poids total du frein, mais la composante de ce poids que j'ajoute à la charge variable. Il en est de même dans les expériences relatives aux autres moteurs.

est la résultante du poids q de cet arbre et de la lanterne, et de l'effort horizontal P'' transmis par le rouet à la lanterne. Cette résultante a pour expression

$$\sqrt{q^2 + P''^2},$$

ou à $\frac{1}{25}$ près, d'après un théorème dû à M. Poncelet sur la valeur linéaire et rationnelle d'un radical de la forme $\sqrt{a^2 + b^2}$ (Cahier lithographié du cours de 1825 et 1826, à l'École de Metz),

$$0.96 . q + 0.4 \ P'',$$

attendu qu'ici q est toujours plus grand que P''; le frottement qui en résultera aura donc pour valeur

$$f_{\prime} (0.96.q + 0.4 P'')^{\text{kil}}.$$

L'égalité qui doit exister entre la quantité de travail transmise par la puissance P'', et celle qui est consommée par les résistances utiles et permises, revenant évidemment à une équation d'équilibre autour de l'axe de l'arbre et de la masselotte, nous aurons

$$P'' R'' = FL + f_{\prime}\rho_{\prime}(Q + F) + f_{\prime}\rho'' (0.96.q + 0.4 P'')$$

d'où l'on tire

$$P'' = \frac{F(L + f_{\prime}\rho_{\prime}) + f_{\prime} Q \rho_{\prime} + 0.96 f_{\prime}\rho'' q}{R'' - 0.4 f_{\prime}\rho''}.$$

En y substituant les données numériques
$L = 3^{m}$; $f_{,} = 0{,}12$; $\rho_{,} = 0^{m},123$; $Q = 1295^{kil.}$;
$\rho'' = 0^{m}.06$; $q = 1051^{kil.}$; $R'' = 0^{m}.589$; elle se réduit à

$$P'' = 5.141\ F^{kil.} + 44^{kil.}.89.$$

Considéré comme résistance, cet effort P'' réagit sur les dents du rouet, et produit entre elles et les fuseaux de la lanterne un frottement, dont l'effort moyen, rapporté à la circonférence primitive, est, d'après la formule donnée par M. Poncelet (Cahier lithographié du cours de 1825 et 1826),

$$fP''.\pi\frac{m+m'}{mm'};$$

en désignant par

$f = 0.06$, le rapport du frottement à la pression des dents et des fuseaux en charme, enduits de suif.
$m = 30$ le nombre des fuseaux de la lanterne.
$m' = 80$ le nombre des dents du rouet.
$\pi = 3.14$ le rapport de la circonférence au diamètre.

Il suit de là que l'effort qui doit être transmis à la circonférence du rouet pour vaincre la résistance P'', et le frottement de l'engrenage, est

$$P''\left(1 + f\frac{m+m'}{mm'}\right) = P'' \times 1.0086,$$

ou, en introduisant la valeur de P'' trouvée plus haut, cet effort, que nous appellerons P', sera

$$P' = 5.185\,F + 45^{\text{kil.}}.276.$$

Si nous considérons ensuite ce qui se passe autour de l'arbre vertical du manége, nous voyons que la machine étant parvenue à l'uniformité, la quantité d'action dépensée par le moteur devra être égale à celle qui est consommée par la résistance P', et par les frottemens sur les appuis de l'arbre; ce qui revient à une équation d'équilibre entre la puissance et les résistances utiles et passives. Pour établir cette équation, soient

R' le rayon primitif du rouet.

M le poids du rouet, de son arbre, des bras et des ferrures.

$\rho_{,}$ le rayon de son pivot.

Le frottement sur le pivot sera dû à la pression M, et son moment, par rapport à l'axe, aura pour expression

$$\tfrac{2}{3} f \rho_{,} M. \text{ (Cahier lithographié.)}$$

Si le nombre des chevaux qui conduisent le manége est pair, et qu'ils soient attelés, comme cela convient, aux extrémités opposées des mêmes diamètres, il est évident que les pressions latérales qu'ils exercent sur les tourillons de l'arbre

vertical se détruisent deux à deux, et qu'il n'en résulte aucun frottement ; mais si le nombre des chevaux est impair, il y en aura nécessairement un dont la traction produira un surcroît de frottement sur les tourillons. Il est facile de faire voir qu'on peut, sans erreur sensible, négliger la quantité d'action qui sera consommée par ce frottement.

Soient en effet (fig. 1, pl. VI) :

AD la direction de la résistance P', que le rouet éprouve de la part de la lanterne.

$AC = R'$ le rayon primitif de ce rouet.

BT la direction de l'effort de traction T du cheval à un instant quelconque du mouvement.

$CB = R$ le bras de levier de cette traction.

α l'angle compris entre CB et CA.

Il est évident que si nous transportons P et T parallèlement à leur direction au point C, et que nous décomposions la dernière de ces forces en deux autres, l'une $T.\cos.\alpha$, dirigée parallèlement à AD, mais agissant en sens contraire de P'; et l'autre $T.\sin.\alpha$, perpendiculaire à AD; la pression latérale sur les tourillons de l'arbre sera la résultante des forces perpendiculaires entre elles,

$$P' - T\cos.\alpha \quad \text{et} \quad T\sin.\alpha;$$

et comme la première est toujours beaucoup plus grande que la seconde, cette résultante pourrait être exprimée à $\frac{1}{25}$ près, d'après le théorème de M. Poncelet, par

$$0.96\,(P' - T\cos.\alpha) + 0.4\,T\sin.\alpha,$$

Et il résulte de cette pression un frottement

$$f_{,}.\,0.96\,(P' - T\cos.\alpha) + f_{,}.\,0.4\,T\sin.\alpha.$$

En désignant par ρ le rayon des tourillons de l'arbre, le chemin élémentaire parcouru par le point d'application de cette résistance dans un instant infiniment petit, sera

$$\rho\, d\alpha,$$

et dans le même temps la quantité d'action ou de travail consommée par le frottement latéral des tourillons de l'arbre vertical, sera exprimée par

$$0.96 f_{,}\rho\,(P'd\alpha - T\cos.\alpha d\alpha) + 0.4 f_{,}\rho\, T\sin.\alpha d\alpha.$$

En intégrant, on obtient pour la valeur de la quantité de travail consommée après un temps quelconque :

$$0.96 f_{,}\rho P\alpha - 0.96 f_{,}\rho\, T\sin.\alpha - 0.4 f_{,}\rho\, T\cos.\alpha + C,$$

expression qui doit être prise depuis

$$\alpha = 0 \text{ jusqu'à } \alpha = 2\pi.$$

Entre ces limites, le premier terme a pour valeur,

$$0.96\, f_{,} P'.\ 2\pi\rho.$$

Le second est nul, ce qui était évident *à priori*, puisque la composante $T \cos.\ \alpha$ se retranche de P' tant que l'on a $\alpha < \frac{\pi}{2}$; s'y ajoute depuis $\alpha = \frac{\pi}{2}$ jusqu'à $\alpha = \frac{3}{2}\pi$; et s'en retranche de nouveau depuis $\alpha = \frac{3}{2}\pi$ jusqu'à $\alpha = 2\pi$, en restant toujours plus petite que P', et en repassant symétriquement par des valeurs égales, mais de directions opposées; de sorte qu'il n'y a pas de changement de direction dans la pression sur les tourillons, et qu'elle est seulement alternativement augmentée et diminuée de quantités égales, ce qui produit une compensation complète.

Mais il n'en est pas de même pour le dernier terme

$$-0.4\, f_{,}\rho\, T \cos.\ \alpha,$$

parce que depuis $\alpha = 0$ jusqu'à $\alpha = \pi$ l'effort du cheval tend à appuyer les tourillons sur un des côtés des coussinets, tandis que depuis $\alpha = \pi$ jus-

qu'à $\alpha = 2\pi$, il les appuie sur l'autre côté, et, comme de l'un ou de l'autre côté il y a toujours une résistance passive qui s'oppose au mouvement de la machine et présente une certaine quantité d'action consommée, il faut prendre la valeur du terme

$$-\ 0.4 f_{,}\rho\ T \cos.\ \alpha,$$

entre les deux premières limites $\alpha = 0$ et $\alpha = \pi$, l'ajouter, abstraction faite du signe, à celle qu'il a entre les deux dernières limites $\alpha = \pi$ et $\alpha = 2\pi$, et prendre la somme, pour la quantité d'action ou de travail consommée par cette composante.

Il suit de là que le travail total dépensé pour vaincre le frottement latéral sur les tourillons de l'arbre vertical, sera à $\frac{1}{25}$ près,

$$0.96 f_{,} P' 2\varpi\rho + 0.4 . f_{,}\rho \times 4T\ (a),$$

(a) Ce qu'on vient de dire du frottement que produit latéralement l'effort d'un cheval qui travaille à un manége, peut aussi s'appliquer à l'action de tout effort, dont le point d'application tourne autour d'un axe; et l'on voit qu'il n'est pas rigoureusement vrai de considérer cette action comme augmentant ou diminuant alternativement de quantités égales la pression produite sur les tourillons de cet arbre, par la résultante des forces constantes qui le sollicitent en même temps. Ce cas se pré-

pour une révolution de cet arbre. Il est facile de voir que pour la machine dont nous nous occu-

---

sente souvent dans la pratique; et nous en avons eu un exemple, sur lequel nous avons différé d'appeler l'attention, dans le manchon qui accouple la masselotte employée dans nos expériences, avec l'arbre de la lanterne.

On arriverait à une même conclusion en suivant une marche analogue; mais il faudra observer que si le premier terme analogue à $P' - T\cos.\alpha$ du radical, qui exprime la résultante, est sujet à devenir, pour certaines valeurs de α, plus petit que $T\sin.\alpha$, la valeur rationnelle que nous avons substituée à ce radical, ne pourra plus être employée; et l'on devra se contenter alors de son expression approchée à $\frac{1}{6}$ près

$$0{,}83\,(P' - T\cos.\alpha + T\sin.\alpha).$$

(*Voyez* le cahier lithographié; Théorème déjà cité.)

La même série de raisonnemens que nous avons suivis fera voir qu'il y aura compensation complète pour la composante verticale de T; mais que la quantité d'action consommée par les composantes horizontales, qui appuient tantôt à droite, et tantôt à gauche, a pour valeurs, dans une révolution de l'arbre,

$$0.83\,f,\rho \times 4T \text{ kil.}$$

quantité qu'on ne peut négliger que quand sa valeur est assez faible pour qu'il n'en résulte pas d'erreur sensible.

Ce résultat est vrai même quand il arriverait que,



pons, la traction d'un cheval étant même de 60 $^{\text{kil.}}$, valeur qu'elle n'atteint que rarement, comme nous avons

$$f_{,}=0.12 \qquad \rho=0^{m},04,$$

la quantité d'action dépensée dans une révolution du manége, par le frottement que produit la composante de T perpendiculaire à P', ne s'élève qu'à

$$0.\,^{\text{kil.}}46,$$

quantité qu'on peut évidemment négliger.

Il suit de ce qui précède que le moment du frottement latéral sur les tourillons de l'arbre vertical du manége, sera simplement

$$f_{,}P'\rho$$

en désignant toujours par $f_{,}$ la quantité $\frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$ dans laquelle f a la même valeur que précédemment, et par ρ le rayon des tourillons.

---

dans certaines positions, l'action de T fût plus grande que celle de P, et que le tourillon vînt frotter sur le contre-coussinet. On peut s'en assurer en partageant les limites de l'intégrale générale

$$0,83 f_{,}\rho\,(P\alpha - T\sin.\alpha + T\cos.\alpha)\,\text{kil.} + C,$$

qui représente la quantité d'action consommée après un instant quelconque du mouvement.

Ainsi, en appelant,

P la somme des efforts de traction des chevaux attelés au manége,

R le bras de levier de ces efforts, ou la longueur de la perpendiculaire abaissée du centre de rotation, sur la corde que les chevaux soustendent en tirant dans la circonférence décrite par le crochet d'attelage,

l'équation des momens autour de l'arbre vertical sera :

$$PR = P'R' + \tfrac{2}{3} f \rho_1 M + f_1 P' \rho \text{; d'où l'on tire,}$$

$$P = \frac{P'(R' + f_1 \rho) + \frac{2}{3} f \rho_1 M}{R}.$$

Nous avons pour le manége n°. 1,

$R' = 1^m,617$; $f_1 = 0.12$; $\rho = 0.^m,04$; $f = 0.12$;
$\rho_1 = 0.^m,02$;
$M = 3698$ kil.

Quant à R, il peut être facilement déterminé; car d'après le mode d'attelage à palonniers, adopté à Strasbourg, le cheval occupe dans ses traits $2^m,78$ depuis la tête jusqu'au crochet de la barre; celle-ci a $2^m,92$ de longueur au manége n°. 1; ainsi le bras du levier R de l'effort P est

$$R = \sqrt{(2.92)^2 - \left(\frac{2.78}{2}\right)^2} = 2^m.568.$$

Pour le manége n°. 2, dont le diamètre, d'un crochet d'attelage à l'autre, est de $6^m,68$, on a

$$R = 3^m.036;$$

Pour le manége n°. 3, dont le diamètre est de $6^m.63$.

$$R = 3^m.009.$$

La substitution de ces données numériques et de

$$P' = 1.0086\ P'',$$

nous donne, pour le manége :

N°. 1. $P = 0.632\ P'' + 2^k.32.$
N°. 2. $P = 0.538\ P'' + 1^k,94.$
N°. 3. $P = 0,543\ P'' + 1^k.98.$

Ou en mettant pour P'' sa valeur en F,

$$P'' = 5,141\ F + 44^k.89$$ (p. 401).

Ces équations deviennent, pour le manége.

N°. 1. $P = 3.273\ F + 30^k.82.$
N°. 2. $P = 2.766\ F + 26^k.07.$
N°. 3. $P = 2.793\ F + 26^k.30.$

C'est sous cette dernière forme que nous avons employé les valeurs de P; en y substituant celles

de F, relatives à chacune de nos expériences, nous avons obtenu immédiatement l'effort total exercé par les chevaux. Les autres résultats consignés dans les tableaux suivans ont été déduits, comme nous l'avons dit, des données locales, ou peuvent s'en conclure sans difficulté.

EXPÉRIENCES faites en mai 1828, sur les manéges de la fonderie de Strasbourg.

MANÉGE N°. I.

Numéros des expériences.	CHARGE DU FREIN. Constante.	Variable.	Totale.	Vitesse que le crochet du frein tendait à prendre en 1″.	Quantité d'action mesurée par le frein ou travail disponible.	Effort total des chevaux.	Vitesse du point d'application de l'effort total des chevaux.	Quantité d'action ou de travail dépensée par les chevaux.	Quantité d'action consommée par les frottemens.	QUANTITÉ D'ACTION OU DE TRAVAIL DÉVELOPPÉE PAR UN CHEVAL EN 1″. A la vitesse observée.	A la vitesse de 1 m. en 1″.	Rapport de la quantité d'action consommée par les frottemens au travail disponible.
	Kil.	Kil.	Kil.	M.	K. m.	Kil.	M.	K. m.	K. m.	K. m.	K. m.	
Deux chevaux.												
1	20	5	25	3.485	87.4	112.6	1.12	126.0	38 6	63.0	70.5	
2	20	10	30	3.335	100.5	129.0	1.07	138.0	37.5	69.0	73.8	
3	20	15	35	3.320	117.2	145.3	1.08	156.9	39.7	78.4	84.7	
4	20	20	40	3.700	148.0	161.7	1.19	192.4	44.4	96.2	114.4	

Trois chevaux.

5	20	30	50	3.384	168.8	194.5	1.08	210	41.2	70.	75.6	
6	20	35	55	3.087	169.7	210.8	0.98	2[illegible]6.5	36.8	68.5	67.1	
7	20	40	60	3.105	186.1	227.2	0.99	226.9	40.8	75.6	74.8	
8	20	45	65	3.070	199.4	243.5	0.98	218.6	39.2	72.8	71.3	
9	20	50	70	3.122	218.3	259.9	1.00	259.9	41.6	86.6	86.6	

Quatre chevaux.

10	20	40	60	2.912	174.	227.2	0.93	211.3	37.3	52.8	49.1	0.21
11	20	45	65	2.931	190.	243.5	0.94	228.9	38.9	57.2	53.7	0.20
12	20	50	70	2.987	209.	259.9	0.96	249.5	40.5	61.3	59.9	0.19
13	20	55	75	2.876	215.	276.3	0.92	254.2	39.2	63.5	58.4	0.18
14	20	60	80	3.114	249.	292.6	1.00	292.6	43.6	73.1	73.1	0.18
15	20	65	85	3.338	283.	309.0	1.07	330.6	47.6	82.8	88.6	0.17
16	20	70	90	3.195	287.	325.4	1.02	331.9	44.9	82.9	84.5	0.16

SUITE des expériences sur les manéges de la fonderie de Strasbourg.

MANÉGE N°. 2.

Numéros des expériences.	Charge du frein. Constante.	Charge du frein. Variable.	Charge du frein. Totale.	Vitesse que le crochet du frein tendait à prendre en 1″.	Quantité d'action mesurée par le frein ou travail disponible en 1″.	Effort total des chevaux.	Vitesse du point d'application de l'effort total des chevaux.	Quantité d'action ou de travail dépensée par les chevaux en 1″.	Quantité d'action consommée par les frottemens en 1″.	Quantité d'action ou de travail développée par un cheval en 1″. A la vitesse observée.	Quantité d'action ou de travail développée par un cheval en 1″. A la vitesse de 1 m. en 1″.	Rapport de la quantité d'action consommée par les frottemens au travail disponible.
	Kil.	Kil.	Kil.	M.	K. m.	Kil.	M.	K. m.	K. m.	K. m.	K. m.	
Deux chevaux.												
1	20	30	50	2.693	134.6	164.4	1.02	167.7	33.1	83.8	85.5	0.25
2	20	25	45	2.836	127.6	150.5	1.07	161.0	33.4	80.5	86.1	0.26
3	20	20	40	2.741	109.6	136.7	1.04	142.1	32.5	71.0	73.8	0.29
4	20	15	35	3.302	109.	122.8	1.25	153.	44.5	76.7	95.8	0.40

Trois chevaux.

5	20	55	75	2.434	180.	233.5	0.91	212.5	32.5	70.8	64.4	0.18
6	20	50	70	2.631	184.	219.7	0.99	217.5	33.5	72.5	71.7	0.18
7	20	45	65	2.423	157.	205.8	0.92	189.8	32.3	63.1	58.0	0.20
8	20	40	60	2.507	150.	192.	0.95	182.4	32.4	60.8	57.7	0.21

Quatre chevaux.

9	20	60	80	2.370	199.6	247.3	0.90	222.6	33.0	55.6	50.	0.17
10	20	65	85	2.544	216.	261.2	0.96	250.7	34.7	62.7	60.2	0.16
11	20	70	90	2.519	226.7	275.	0.95	261.2	34.5	65.3	62.0	0.15
12	20	75	95	2.468	234.8	288.8	0.94	271.5	36.7	67.9	63.8	0.16
13	20	75	95	2.608	247.6	288.8	0.99	285.9	38.3	71.4	70.8	0.15
14	20	80	100	2.045	204.5	302.6	0.77	233.	28.3	58.2	44.8	0.14
15	20	85	105	2.727	286.3	316.5	0.98	310.2	33.9	77.8	76.2	
16	20	90	110	2.633	289.6	330.3	1.	330.1	40.5	82.0	82.	0.14
17	20	85	105	2.419	254.	316.5	0.92	291.2	37.2	72.5	66.7	0.15
18	20	90	110	2.300	253.	330.3	0.87	287.4	34.4	71.8	62.5	0.13
19	20	95	115	2.260	260.	344.1	0.86	2[illegible]5.9	35.9	73.9	63.5	0.14

SUITE des expériences sur les manéges de la fonderie de Strasbourg.

MANÉGE N°. 3.

Numéros des expériences.	CHARGE DU FREIN. Constante.	CHARGE DU FREIN. Variable.	CHARGE DU FREIN. Totale.	Vitesse que le crochet du frein tendait à prendre en 1″.	Quantité d'action mesurée par le frein ou travail disponible en 1″.	Effort total des chevaux.	Vitesse du point d'application de l'effort total des chevaux en 1″.	Quantité d'action ou de travail dépensée par les chevaux en 1″.	Quantité d'action consommée par les frottemens en 1″.	QUANTITÉ D'ACTION OU DE TRAVAIL DÉVELOPPÉE PAR UN CHEVAL EN 1″. A la vitesse observée.	QUANTITÉ D'ACTION OU DE TRAVAIL DÉVELOPPÉE PAR UN CHEVAL EN 1″. A la vitesse de 1 m. en 1″.	Rapport de la quantité d'action consommée par les frottemens au travail disponible.
	Kil.	Kil.	Kil.	M.	K. m.	Kil.	M.	K. m.	K. m.	K. m.	K. m.	
Trois chevaux.												
1	20	80	100	2.625	262.5	305.6	0.99	302.5	40.	100.8	99.8	
2	20	75	95	2.557	243.	291.6	0.96	279.9	36.9	93.3	89.5	
3	20	70	90	2.619	235.7	277.6	0.98	272.	36.3	90.6	88.7	
Quatre chevaux.												
4	20	80	100	2.557	255.7	305.6	0.96	293.3	37.6	73.3	70.3	
5	20	85	105	2.633	276.	319.5	0.99	316.3	40.3	79.	78.2	
6	20	90	110	2.676	294.	333.5	1.	333.5	39.5	83.3	83.3	

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, nous n'avons pas de conclusion absolue à tirer de ces expériences, puisqu'étant maîtres de faire varier la charge du frein, nous obligeons les chevaux à exercer l'effort convenable pour la tenir en équilibre. Nous indiquerons seulement quelques observations relatives à la vitesse, et au plus grand travail qu'on peut demander accidentellement à des chevaux attelés à un manége.

Dans toutes les expériences, on avait soin de ne point surmener les chevaux et de leur laisser prendre l'allure naturelle; on se bornait, pour les tenir à une marche régulière, à les appeler de la voix. La colonne des vitesses du point d'application de leur effort montre que ces vitesses variaient presque toujours entre $0^m,90$ et 1^m. Dans tous les cas où elles dépassaient et même lorsqu'elles atteignaient 1^m, la charge à enlever était trop forte et les chevaux fatiguaient doublement, et par l'accroissement d'effort et par celui de la vitesse qu'ils prenaient.

Dans les efforts modérés, au contraire, la vitesse tendait à se rapprocher beaucoup de $0^m,90$ par seconde, et même à tomber au-dessous. Il paraîtrait donc que la vitesse de $0^m,90$ serait celle qui conviendrait le mieux à une allure franche et naturelle; c'est au reste celle qui est assez généralement admise.

En observant l'état des chevaux après une re-

prise de trois heures de travail, nous avons remarqué que, malgré les interruptions assez fréquentes de mouvement qui avaient lieu pour le changement de la charge du frein et l'inscription des résultats, ils étaient en sueur et fatigués, lorsque les charges nécessitaient des tractions moyennes de 60 kilogrammes ou plus, à la vitesse de $0^{m},90$, quoiqu'ils aient pu accidentellement, comme on le voit, en fournir de beaucoup plus grandes.

Si l'on remarque de plus, que, dans les expériences avec trois et quatre chevaux, la quantité d'action consommée par les frottemens est assez ordinairement $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ de celle qui est fournie par le moteur, on voit que le plus grand travail que l'on puisse demander pendant quelque temps à un cheval ne serait que de

$$60^{k.m.} \times 0^{m},90 = 54^{k.m.}$$

et que l'effet utile ne serait que de

$$45^{k.m.}$$

Ce résultat, que nous n'indiquons ici que comme une limite supérieure, ne pourrait être obtenu avec continuité sans une trop grande fatigue.

Cherchons si ces résultats, relatifs au plus grand travail que l'on puisse occasionellement demander à des chevaux dans les manéges, sont confirmés

par l'observation de la quantité d'action dépensée à la fonderie de Toulouse, par les opérations du forage qui en consomment le plus. Sans entrer dans l'explication de la marche à suivre pour calculer l'effet utile de la roue hydraulique de Toulouse, pour laquelle nous renverrons au détail des expériences que nous avons faites sur ce moteur, nous allons rapporter les résultats de quelques observations.

Deux pièces de siége, l'une de 16 et l'autre de 24, étaient montées sur les bancs de forerie; on les tournait extérieurement et on y passait le premier foret; elles tournaient à la vitesse de huit tours par minute.

Voici les données pour le calcul de la quantité d'action dépensée par le moteur.

Levée de la vanne.	$0^m,085$
Charge sur le centre de l'orifice. .	$1^m,213$
Dépense d'eau par seconde. . . .	$0^m,482$
Chute.	$1^m,775$
Quantité d'action ou de travail dépensée par le moteur en deux secondes (*a*).	$846^{u.}$

Le tableau des expériences sur la roue de

(*a*) On trouvera aux expériences, sur la roue de Toulouse, les données constantes nécessaires pour ce calcul.

Toulouse nous montre que pour des levées de vanne analogues, et pour la même vitesse, l'effet utile ou le travail disponible est les 0.42 de la quantité d'action dépensée par le moteur; ainsi l'ouvrage exécuté sur ces deux pièces consommait

$$846 \times 0.42 = 355^{\text{k.m.}} \text{ par seconde.}$$

Et comme le premier foret est le même pour les deux calibres, nous pouvons approximativement prendre pour la quantité d'action dépensée par chacun des bancs,

$$178^{\text{k.m.}} \text{ par seconde.}$$

A Strasbourg, quatre chevaux font ce même travail en imprimant aussi à la pièce une vitesse moyenne de huit tours par minute; chaque cheval produit donc une quantité d'action ou de travail disponible de

$$\frac{178}{4} = 44.5^{\text{k.m.}} \text{ ou } 45^{\text{k.m.}}$$

Et comme nous avons vu que pour le manége n°. 2, qui est celui des gros calibres, mené par quatre chevaux, à la vitesse de $0^{\text{m}}.90$ par seconde, ce qui correspond à environ huit tours de la bouche à feu par minute, la quantité d'action consommée par les frottemens est moyennement 0,15 du travail disponible, il s'ensuit que la quantité d'action développée par cheval,

aura pour valeur moyenne pendant cette opération,

$$45^{k.m.} + 0.15 \times 45^{k.m.} = 51.75^{k.m.}$$

Dans cette expérience on tournait les pièces après les avoir dégrossies; nous allons en rapporter une autre où l'on dégrossissait les pièces en même temps qu'on les forait. On sait que c'est une des opérations qui exige le plus grand travail dû moteur, et que dans le manége elle fatigue beaucoup les chevaux.

Une pièce de 16 et une pièce de 12 de place, montées sur les bancs, tournaient à la vitesse de huit tours par minute; on y passait le premier foret et on les dégrossissait; les données étaient les suivantes :

Levée de la vanne.	$0^m,074$
Charge sur le centre de l'orifice. .	$1^m,528$
Dépense d'eau par seconde. . . .	$0^m,471$
Chute.	$2^m,065$
Quantité d'action dépensée par le moteur en une seconde.	$972^{k.m.}$

L'effet utile ou la quantité d'action disponible en étant les 0,42, nous voyons que l'ouvrage exécuté consommait par seconde,

$$972 \times 0.42^{k.m.} = 408^{k.m.}$$

et en supposant cette quantité d'action égale-

ment répartie entre les deux bancs, chacun d'eux consommait 204 k. m. en une seconde.

Ce même travail étant ordinairement exécuté par quatre chevaux à la même vitessé, on voit que chaque cheval fournit un effet utile de

51 k. m.

et, en ajoutant 0,15 de cet effet pour tenir compte des frottemens, on trouve que pour cette opération, l'une des plus fatigantes pour les chevaux, ils développent une quantité d'action moyennement égale à

58 k. m., 65.

D'autres observations nous ayant conduit à des résultats à très-peu près les mêmes, nous croyons pouvoir conclure que l'on ne peut pas exiger des chevaux, sans risquer de les ruiner promptement, un travail continu pour quelques relais, de plus de

50 k. m. par seconde,

quoiqu'accidentellement, et pendant plusieurs heures, ils puissent fournir environ

60 k. m.

Ce *maximum* de 50 k. m. n'est atteint que

dans les opérations dont nous venons de parler et dans quelques autres, mais habituellement la quantité d'action dépensée par les chevaux n'excède pas

40 à 45 k. m. pour six heures de travail journalier.

Ce résultat est un peu au-dessous de celui qu'indique M. Navier. Il estime qu'un cheval travaillant huit heures par jour peut fournir

40 k. m. par seconde.

Nous voyons donc que, par suite des pertes en frottemens, il faudra compter sur deux chevaux de manége pour obtenir une quantité d'action ou de travail disponible de 75 k. m., ou égale à la force d'un *cheval-vapeur* (*a*), et, comme dans

(*a*) On est aujourd'hui assez généralement d'accord sur cette valeur de 75 kil. pour la force du cheval-vapeur; elle correspond à très-peu près à celle que les Anglais appellent leur unité routinière, et qui est de 33000 livres *avoirdupoids* élevées à un pied anglais en une minute, ce qui revient à 76 kil. élevés à 1 mèt. en une seconde.

Cette dernière appréciation a été déduite, par Watt, d'expériences directes très-nombreuses sur des chevaux auxquels il faisait élever des poids en tirant sur un terrain horizontal.

Toutefois les bons constructeurs anglais livrent leurs

les fonderies les chevaux ne font que deux relais de trois heures chacun, on voit que quatre chevaux de manége ne fourniront moyennement en douze heures que le travail d'un cheval-vapeur qui travaille continuellement.

---

machines à raison de 33000 livres à un pied en une minute, ou 76 kil. par seconde, par force de cheval; mais ils les calculent sur la base de 44000 livres élevés à un pied en une minute pour cette même force. Il résulte de là que les bonnes machines à vapeur, construites en Angleterre, sont en général d'une force supérieure d'un tiers à leur force nominative; c'est ce que des expériences faites dans le Haut-Rhin, par la Société industrielle de Mulhouse, avec le frein de M. de Prony, sur des machines à basse ou à moyenne pression, ont vérifié. C'est Watt qui a introduit cet usage; et il en donne pour raison, dans ses notes sur le Mémoire du docteur Robinson sur la machine à vapeur, qu'il a voulu prévoir le cas très-probable où les machines ne seraient pas entretenues aussi bien que possible.

Désaguliers et Emerson donnent, pour la force du cheval, 44000 livres élevées à un pied en une minute.

Smeaton ne l'estime qu'à 22961 livres élevées à un pied en une minute; mais il ne l'a mesurée que par l'effet utile des manéges où l'on élevait de l'eau, de sorte que la quantité d'action consommée par les résistances passives doit s'y ajouter. Cette estimation ne correspond qu'à 50 kil. élevés à un mèt. en une seconde.

On voit par ces détails combien il est important de définir la force du cheval dans le calcul des machines.

La préférence à accorder à tel moteur sur tel autre, se réduisant presque toujours à une question d'argent, nous allons rechercher quel est le prix de la force de cheval transmise aux foreries à manége, d'après les bases admises dans les devis des trois fonderies.

On compte que 24 chevaux suffisent pour le travail de quatre bancs de forerie, parce qu'il y a des opérations où l'on n'en attelle que deux, et qu'en combinant convenablement les travaux on en aura toujours assez de disponibles.

Nous admettrons qu'un manége et le bâtiment qui le contient ne coûte que 3500 fr., c'est évidemment une estimation trop faible; car, ordinairement, la machine coûte 2000 à 2400 fr., et le bâtiment autant.

D'après cela, pour une forerie à quatre bancs, nous aurons, pour les frais d'établissement,

Quatre manéges à 3500 fr. l'un (y compris le bâtiment)	14000
Vingt-quatre chevaux à 450 fr. l'un	10800
Seize cous de cygne à 50 fr. l'un, ou harnais	800
Capital	25600

Dépenses annuelles.

Intérêt du capital de 25,600 fr. à 5 pour %.		1280 fr.
Usé des chevaux, en admettant qu'ils durent huit ans, et se vendent encore 150 fr. après ce temps.		900
Huit mille sept cent soixante journées de nourriture des chevaux à 1 fr. 30 c., d'après le prix des rations établi à Strasbourg et à Toulouse.		11388
La régie de Toulouse comptait pour entretien annuel de ferrage, harnachement, médicamens, 35 fr. par cheval; pour vingt-quatre.	840	
Elle en déduisait pour le fumier $0^{\text{fr.}}.06$ par jour et par cheval; pour vingt-quatre en un an.	525 60	
Reste net pour l'entretien annuel de ferrage, etc.	314 40, ci.	314 40
Un maître palefrenier à 60 f. par mois.	720	
Un aide-palefrenier à 45 fr. par mois.	540	
Trois garçons de manége à 30 fr. par mois l'un.	1080	
Total des frais de conduite et entretien des manéges.	2340, ci.	2340
Huile, graisse, fuseaux, dents, etc., pour les quatre manéges.		250
Dépense annuelle totale pour vingt-quatre chevaux.		16472 40

L'année de travail ne se compose que de 300 jours, ce qui porte la journée du cheval de manége dans les fonderies à 2fr., 287.

Les devis de la fonderie de Strasbourg, sous l'entreprise, n'estiment la journée de cheval qu'à 1fr.,969; mais on n'y tient compte ni de l'usé des chevaux, ni de l'intérêt du capital d'achat et de celui des manéges; la régie de Toulouse porte cette journée à 2fr. 594, et la régie de Douay à 2fr.,20, non compris l'intérêt du capital de l'usine et de l'achat des chevaux. On voit donc que notre estimation, à peu près intermédiaire entre celles des trois fonderies, est plutôt trop faible qu'exagérée.

Il faut d'ailleurs observer que quatre bancs, mus par des manéges, exigent des bâtimens beaucoup plus vastes qu'une seule usine avec un moteur unique.

Nous conserverons cependant cette estimation, et puisque nous avons vu qu'il faut moyennement quatre chevaux de manége pour transmettre, pendant 12 heures, au banc de forerie la force d'un cheval-vapeur, il s'ensuit que dans les fonderies, mues par des manéges, la force du cheval-vapeur de 75 k.m. en 1″, travaillant seulement 12 heures par jour, revient à 9fr.,15.

Nous terminerons ce qui est relatif aux manéges de la fonderie de Strasbourg, en rectifiant l'équation donnée dans le Mémoire de 1827. J'ai

déjà indiqué quelle en était la principale erreur, et la rapidité de la rédaction m'en avait fait commettre une autre en écrivant, cos. $45° = \frac{1}{2}$, au lieu de cos. $45° = \sqrt{\frac{1}{2}}$; je n'y avais pas d'ailleurs tenu compte des frottemens; elle est donc tout-à-fait défectueuse. Peu de mots suffiront, d'après ce que nous avons vu, pour en établir une plus exacte.

Appelons :

P la somme des efforts de traction des chevaux attelés au manége, efforts dont chacun ne devra pas excéder 50 kil. à la vitesse de 1 mètre, et ne devra même avoir pour valeur habituelle que 40 à 45 kil., comme nous l'avons vu.

R la perpendiculaire abaissée de l'axe vertical du manége sur la direction du tirage. Si l'attelage est à cou de cigne, R sera la distance du milieu du collier à l'axe.

$2\pi RP$ sera la quantité d'action ou de travail développée par les chevaux dans une révolution du manége.

P' étant l'effort qui doit être exercé par la circonférence primitive du rouet sur la lanterne, etc.

R' le rayon de cette circonférence primitive,

$2\pi R'P'$ sera la quantité de travail transmis au rouet par tour de manége.

Enfin nous avons vu que

M étant le poids du rouet et de l'arbre vertical avec ses barres et ses ferrures,

ρ_2 le rayon du pivot, etc.

f le rapport du frottement à la pression pour le pivot et son palier,

$2\pi \cdot \frac{2}{3} \rho_2 f \cdot M = \frac{4\pi\rho_2}{3} f \cdot M$, sera la quantité d'action consommée par le frottement de l'arbre sur ce pivot, et que

ρ étant le rayon des tourillons de l'arbre, le frottement latéral sur les coussinets de cet arbre consommera dans une révolution

$2\pi\rho f_{,} P'^{\text{k.m.}}$; $f_{,}$ étant égal à $\frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$,

Nous savons d'ailleurs qu'on peut négliger la pression latérale produite par le cheval impair, s'il y en a un.

D'après cela, comme la quantité d'action ou de travail, dépensée par les chevaux, doit être égale à la somme de celles qui sont consommées, soit par le travail utile, soit par les résistances passives, dès que la machine est parvenue à l'uniformité ou au moins à la périodicité, nous aurons l'équation

$$2\pi RP = 2\pi R'P' + \frac{4\pi\rho_2}{3} f M + 2\pi\rho f_{,} P', \text{ ou}$$
$$PR = P'(R' + f_{,}\rho) + \tfrac{2}{3} f \rho_2 M.$$

Si P nous est donné, nous en tirerons pour l'effort que le rouet exerce sur la lanterne,

$$P' = \frac{PR - \frac{2}{3} f \rho_2 M}{R' + f_1 \rho}.$$

Soit P'' l'effort utile à transmettre à la circonférence primitive de cette lanterne; en le considérant comme la résistance opposée à P', il produira entre les dents du rouet et les fuseaux de la lanterne un frottement dont l'effort moyen équivaudra à

$$f' \; P'' \pi . \frac{m + m'}{mm'}. \qquad \text{(Cahier lithographié.)}$$

f' étant le rapport du frottement à la pression pour les substances qui forment les dents et les fuseaux.

R'' étant le rayon du cercle primitif de la lanterne,

$$2\pi R'' f' \; P'' \pi \; \frac{m + m'}{mm'} \text{ k. m.}$$

sera le travail consommé par le frottement de l'engrenage, dans une révolution de la lanterne; et l'effet utile ou la quantité de travail disponible à la circonférence de cette lanterne, sera dans le même intervalle

$$2\pi R'' P'' \text{ k. m.}.$$

q étant le poids de l'arbre de la lanterne et de toutes ses forces,

La pression sur les tourillons de cet arbre sera, comme nous l'avons vu, exprimée à $\frac{1}{15}$ près, par

$$0.96\ q + 0.4\ P'.$$

$\delta\ \rho''$ étant le rayon de ces tourillons, la quantité d'action consommée par le frottement qui en résulte dans une révolution, sera

$$2\pi\rho'' f_{,}\ (0.96\ q + 0.4\ P')^{\text{k. m.}}$$

Dans une révolution de la lanterne, la somme des quantités d'action ou de travail, consommée par l'effet utile et par les résistances passives, sera

$$2\pi\ R''\ P''\left(1 + f'\ \pi\ \frac{m+m'}{mm'}\right) + 2\pi\rho'' f_{,}\ \Big(0.96 q$$
$$+ 0.4\ P'\Big)^{\text{k. m.}}$$

mais m est le nombre de dents du rouet;

m' celui des dents de la lanterne;

celle-ci fera donc

$\frac{m}{m'}$ révolutions pour un tour du rouet ou du manége; et puisque, pour une révolution du manége, le rouet transmet une quantité d'action $2\pi R'P'$, qui doit être égale à celle qui est consommée dans le même temps par l'effet utile et par les résistances passives de la lanterne, nous aurons l'équation

$$2\pi P' R' = 2\pi \frac{m}{m'} P'' R'' \left(1 + f' \pi \frac{m + m'}{mm'}\right)$$
$$+ 2\pi \frac{m}{m'} f_{,} \rho'' \left(0.969 + 0.4 P'\right),$$

ou

$$P'\left(R' - \frac{m}{m'} 0.4 f_{,} \rho''\right) = \frac{m}{m'} P'' R'' \left(1 + f_{,} \pi \frac{m + m'}{mm'}\right)$$
$$+ \frac{m}{m'} f_{,} \rho'' \cdot 0.969,$$

d'où l'on tire pour la quantité d'action ou de travail disponible, transmise par chaque révolution du manége,

$$\frac{m}{m'} 2\pi R'' P'' = 2\pi \cdot \frac{P'R' - \frac{m'}{m} f_{,} \rho'' (0.969 + 0.4 P')}{1 + f' \pi \frac{m + m'}{mm'}}.$$

En substituant dans cette équation pour P' sa valeur

$$P' = \frac{PR - \frac{2}{3} f \rho_{2} M}{R' + f_{,} \rho},$$

on en tirera pour chaque révolution du manége la quantité d'action disponible pour l'ouvrage que l'on veut exécuter.

La vitesse des chevaux par seconde étant, d'ailleurs, donnée *à priori*, de $0^m,80$ à 1^m au plus, on en conclura facilement le nombre de tours faits par seconde, soit par le rouet, soit par la lanterne, et par suite l'effet utile que l'on peut obtenir par seconde du nombre de chevaux que l'on aura employés.

Réciproquement, si la quantité d'action utile ou de travail disponible, est connue d'avance, ainsi que la vitesse de la dernière pièce, on disposera les nombres de dents m et m' et le rayon R, de manière à satisfaire aux conditions de vitesse, et on déduira ensuite des formules ci-dessus l'effort total P, à faire exercer par les chevaux, à la vitesse obligée de $0^{m},80$ à 1^{m}.; en divisant cet effort total par 40 ou 45 $^{kil.}$, on aura le nombre de chevaux à atteler au manége.

Expériences sur la roue hydraulique à augets de la filature de MM. Schlumberger à Guebville département du Haut-Rhin.

Cette roue, de construction anglaise, est entièrement composée de parties en fonte et en fer; elle pèse 25000 kil.; son diamètre extérieur est de 30 pieds anglais ou 9^{m}. 10; sa largeur intérieure est de 3^{m}.155. Elle porte 96 augets en tôle, espacés à la circonférence extérieure de 0^{m}.30, et fixés à des joues en fonte, de 0^{m}.30 de largeur dans le sens des rayons.

L'eau entre dans la roue à 50° environ du sommet, au moyen d'une vanne faisant un angle de 40° avec la verticale; en s'abaissant, cette vanne démasque un orifice garni de cloisons, qui dirigent l'eau dans les augets, dont les faces sont dans leur prolongement. On s'est proposé par là d'éviter le choc de l'eau contre la face des augets; mais pour

que ce but fût bien rempli, il faudrait que la direction de la paroi de l'auget fût celle de la résultante de la vitesse de l'eau et de la vitesse de la circonférence de la roue. Cependant, comme l'angle formé par cette résultante et le prolongement des cloisons est assez petit, le choc de l'eau sur la face de l'auget est faible et il y a peu de rejaillissement.

La chute utilisée, ou la distance du niveau des réservoirs au point inférieur de la roue, varie entre 7^{m}. 70 et 7^{m}. 80.

Cette roue fait marcher environ 23000 broches de filature, dont la moitié filent du numéro 30 au numéro 50, et l'autre moitié du numéro 50 au numéro 100, avec toutes les préparations nécessaires. Elle donne de plus le mouvement aux tours d'un atelier de serruriers mécaniciens, qui construisent des mécaniques de filature. Sa force était estimée dans l'usine, et d'après les calculs des constructeurs, à 55 chevaux-vapeur.

Nous renverrons à la *Pl. VIII* et à la légende pour la description de cette roue, et nous passerons de suite aux expériences que nous avons entreprises avec le frein.

La présence des cloisons qui conduisent l'eau dans les augets, pouvant apporter dans l'écoulement, des modifications qui n'auraient pas permis d'employer les valeurs ordinaires du coefficient de contraction, nous avons été obligés de recourir à la mesure directe pour nous en assu-

rer. L'eau est amenée sur la roue par un canal d'une pente et d'une largeur régulières, revêtu en pierre, et d'un profil facile à mesurer. Nous avons jeaugé le cours d'eau à l'aide d'un flotteur léger, immergé dans le plus fort courant et ne dépassant pas la surface; nous lui avons fait parcourir un grand nombre de fois une longueur de 50m mesurés exactement, et nous avons trouvé constamment que sa vitesse dans cet espace était de 0m.454 par seconde; et comme cette vitesse est comprise entre 0m.40 et 1m.30 nous la réduisons, d'après M. de Prony, aux $\frac{4}{5}$, pour avoir la vitesse moyenne dans le canal, qui sera alors égale à 0m.36 par seconde. La surface du profil de ce canal, dans l'endroit où nous opérions était de

2m. q. 108.

Le produit du cours d'eau était donc de

0m.36 × 2m. q.108 = 0m. c758 par seconde.

Au même instant la vanne de travail se trouvoit baissée de manière à découvrir trois orifices. Les deux premiers avaient une largeur de 0m.07, et le troisième ou l'inférieur, une largeur de 0m.045. Leur longueur commune était de 2m.63; la hauteur observée du niveau de l'eau était :

Sur l'orifice supérieur 0m.12; la vitesse due à cette charge = 1m.53;

Sur le second orifice, 0m.26; la vitesse due à cette charge = 2m.26;

Sur le troisième orifice, $0^{m}.346$; la vitesse due à cette charge $= 2^{m}.61$.

De sorte qu'en considérant chacun de ces trois orifices comme isolé on trouverait pour la dépense théorique de fluide par le

1er. orifice. $0^{m}.07 \times 2^{m}.63 \times 1^{m}.53 = 0^{m.c.}.28167$
2me. orifice. $0^{m}.07 \times 2^{m}.63 \times 2^{m}.26 = 0.\ 41066$
3me. orifice. $0^{m}.045 \times 2^{m}.63 \times 2^{m}.61 = 0.\ 30798$

et pour la dépense théorique totale $1^{m.c.}.00571$ en une seconde.

Le rapport de la dépense réelle trouvée au moyen du flotteur, à la dépense théorique est de

$$\frac{0.758}{1.005} = 0.754.$$

Ce nombre est donc le coefficient de contraction à employer dans le calcul des dépenses d'eau faites par cette vanne. Or les expériences de M. Poncelet, rapportées dans son Mémoire sur les roues à aubes courbes (page 82), nous apprennent que quand l'eau s'écoule par un orifice dont trois côtés sont dans le prolongement du fond du réservoir et n'offrent pas de contraction, et que l'autre paroi est inclinée à 1 de base sur 2 de hauteur, le coefficient de la contraction est 0,75, et que si cette paroi est inclinée à 1 de base sur 1 de hauteur, ce coefficient a pour valeur 0,80. Ces résultats sont d'ailleurs vrais, quels

que soient les côtés où il n'y a pas de contraction, et la paroi qui est inclinée. Dans le cas dont il s'agit, il n'y a de contraction ni sur les faces latérales ni sur le côté supérieur, et la vanne est inclinée à 40° avec la verticale, de sorte qu'elle est comprise entre les deux inclinaisons ci-dessus, et le coefficient que nous avons trouvé par une mesure directe, se trouve aussi compris entre 0.75 et 0.80. Nous pouvons donc le regarder comme exact, et l'appliquer aux diverses positions de la vanne relatives à nos expériences.

Dans les expériences, la largeur des orifices partiels ouverts par la descente de la vanne a été mesurée par des perpendiculaires abaissées des sommets de chaque cloison (*fig.* 3, *Pl. VI*), sur les cloisons opposées, ce qui, d'après la disposition de l'appareil, donnait toujours le plus petit intervalle de ces cloisons. La charge sur ces orifices partiels était la hauteur du niveau de l'eau au-dessus du milieu de ces perpendiculaires; la longueur des orifices était d'ailleurs constante. Toutes ces données prises avec soin ont été rapportées sur une figure de la vanne et de sa cloison, construite sur une grande échelle. On a ainsi, pour chacune des séries d'expériences, déterminé la dépense d'eau, et l'on a formé le tableau suivant qui donne aussi la force absolue du moteur.

Numéros des séries d'expériences.	Largeur des orifices sur une longueur de $2^{m}.63$.	Surface des orifices.	Charge d'eau sur le centre des orifices.	Vitesse due à cette charge.	DÉPENSE D'EAU EN 1″. THÉORIQUE. Par chaque orifice.	DÉPENSE D'EAU EN 1″. THÉORIQUE. Par tous les orifices ouverts.	DÉPENSE D'EAU EN 1″. RÉELLE.	Chute totale.	QUANTITÉ D'ACTION FOURNIE PAR LE MOTEUR EN 1″. en k. m.	QUANTITÉ D'ACTION FOURNIE PAR LE MOTEUR EN 1″. en chev., de 75 k.m.
	m.	m. q.	m.	m.	m. c.	m. c.	m. c.	m.	k. m.	k. m.
1	0.07 0.05	0.1841 0.1315	0.065 0.17	1.13 1.83	0.208 0.241	0.449	0.338	7.78	2626	35.01
2	0.07 0.07 0.017	0.1841 0.1841 0.0447	0.057 0.195 0.235	1.06 1.96 2.15	0.195 0.361 0.098	0.654	0.494	7.77	3838	51.17
3	0.07 0.07 0.07	0.1841 0.1841 0.1841	0.057 0.195 0.32	1.06 1.96 2.50	0.195 0.361 0.460	1.016	0.766	7.77	5951	79.33

Le frein dont on s'est servi dans ces expériences, était composé d'une forte pièce de chêne de 7 mètres de long sur 0^m,28 d'équarrissage au gros bout et 0,25 au petit. L'arbre de couche du pignon intérieur au grand cercle denté, qui porte la roue hydraulique, était celui sur lequel on voulait le placer; mais comme son diamètre n'était que de 0^m,16, on fixa sur cet arbre un manchon en fonte composé de deux pièces assemblées avec quatre clefs à *T* engagées latéralement. On avait d'abord dressé de petites faces planes sur l'arbre, pour donner de l'assiette aux coins en fer qui devaient y fixer le manchon. Lorsqu'à l'aide de ces coins il fut bien assuré dans sa position, on monta un support de tour, et on tourna sa surface extérieure, pour rendre le frottement aussi régulier que possible; un coussinet en fonte, encastré en partie dans la face inférieure du levier du frein, et une bande de fer de 0^m,20 de large sur 0^m,004 d'épaisseur, embrassaient le manchon. Deux trous rectangulaires pratiqués aux extrémités de la bande, qui avaient conservé une épaisseur de 0^m,008, recevaient des clefs qui traversaient les têtes fendues de deux boulons carrés de 0^m,05. Ces boulons passaient dans le coussinet et dans le levier du frein, et recevaient de larges rondelles en fonte et des écrous. Trois hommes avec une clef de 1^m30 serraient ces écrous, pendant qu'un autre versait sans cesse de l'eau

sur le manchon pour empêcher l'échauffement.

Le levier du frein était retenu en avant par des chantiers, et en arrière par une pièce transversale, de sorte qu'il ne pouvait qu'osciller entre deux positions peu écartées en dessus et en dessous de l'horizontale. Un plateau de balance était suspendu à un crochet fixé à 6^m,01 de l'axe de l'arbre de couche; le poids du frein rapporté à ce crochet était de 132^{kil}, y compris le crochet, le plateau de balance et ses cordes. C'est la charge constante du frein.

Tout étant ainsi disposé, on laissait arriver l'eau sur la roue et on commençait par faire marcher la machine avec la seule charge constante du frein, on serrait les écrous jusqu'à ce que le levier fût tenu en équilibre, et n'oscillât que légèrement en dessus et en dessous de l'horizontale; après que la machine avait marché quelque temps et pris un mouvement sensiblement uniforme, on commençait à compter les tours au moyen d'une montre à secondes mortes, et l'on observait chaque fois le nombre de secondes nécessaires pour dix tours de l'arbre de couche; on répétait l'observation trois fois, en ne la tenant pour bonne que quand elle indiquait une marche uniforme de la roue. On augmentait ensuite successivement la charge du plateau du frein, en allant jusqu'à celle sous laquelle la roue était arrêtée. On aurait désiré pouvoir faire marcher la

roue à des vitesses plus grandes que celles qui correspondaient à la charge constante du frein, mais ces vitesses étaient déjà assez rapides pour qu'il y eût danger de voir sauter de leur palier les pignons de la filature et de l'atelier des tours, sous l'action de la force centrifuge.

Nous avons insisté sur les détails de l'expérience, parce que, ce moteur étant le plus puissant que nous ayons éprouvé, l'emploi du frein nécessitait beaucoup de précautions.

D'après ce qui précède, on connaissait donc la charge totale du frein et la vitesse que son crochet tendait à prendre; le produit de ces deux quantités donnait la quantité d'action mesurée par le frein ou la quantité de travail disponible. Mais si ce résultat est le plus important à connaître pour le propriétaire de l'usine, il ne suffit cependant pas pour apprécier la roue hydraulique. En effet, le grand cercle d'engrenage monté sur l'arbre de couche engrène avec deux pignons; l'un, placé au-dessus, sert à communiquer le mouvement à l'atelier du mécanicien; l'autre, qui est à peu près à hauteur de l'arbre de couche, fait marcher la filature. Dans les expériences, les communications de mouvement entre la chambre de la machine et les ateliers, avaient été interrompus en débroyant les manchons; mais ces deux pignons et leurs arbres ne pouvaient pas être désengrenés, et comme ils marchaient très-

vite, ils consommaient une quantité de travail qu'il n'était pas permis de négliger. Il fallait donc tenir compte du frottement sur leurs tourillons et de celui de l'engrenage; il se produisait aussi un frottement considérable sur les coussinets de l'arbre de couche; l'engrenage du pignon intérieur avec le cercle denté porté par la roue, et la pression de cette roue sur les tourillons, consommaient aussi une certaine quantité d'action, par les frottemens qu'ils occasionaient; ce n'est donc qu'après avoir calculé les efforts nécessaires pour vaincre ces différens frottemens, qu'on pouvait déterminer la quantité d'action ou de travail réellement transmise par le moteur à la circonférence moyenne des augets. Pour y parvenir, nous avons suivi la marche que nous allons indiquer.

Soient p le poids du pignon supérieur et de son arbre;

ρ le rayon de son tourillon;

$f_{\prime}=\frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$, f étant le rapport du frottement à la pression pour un axe en fer tournant, dans une boîte de cuivre avec enduit;

φ la force horizontale à appliquer tangentiellement au cercle primitif du pignon pour vaincre son frottement sur les coussinets.

Ce pignon sera pressé sur ses tourillons par la résultante de φ et de son poids p, et ces deux forces étant à angle droit, leur résultante sera

$$\sqrt{\varphi^2 + p^2},$$

et le frottement qui en résultera aura pour expression :

$$f_{\prime} \sqrt{\varphi^2 + p^2} \text{ ou à } \tfrac{1}{25} \text{ près,}$$

d'après le théorème déjà cité, sur la valeur rationnelle du radical de cette forme, dû à M. Poncelet, attendu que l'on a $p > \varphi$,

$$0.96 f_{\prime} p + 0.4 f_{\prime} \varphi.$$

La force φ doit, à chaque instant du mouvement parvenu à l'uniformité, faire équilibre à ce frottement, et en désignant par r le bras de levier de φ, ou le rayon du cercle primitif du pignon, on aura

$$f_{\prime} \rho\,(0.96\,p + 0.4\,\varphi) = \varphi r,$$

d'où

$$\varphi = \frac{0.96\, f_{\prime}\, p\rho}{r - 0.4\, f_{\prime} \rho}.$$

On trouverait de même l'expression de la force φ', qui suffit pour vaincre le frottement du pignon de la filature sur ses tourillons, en observant qu'ici la force φ' et le poids p' du pignon et de son arbre, agissent verticalement et dans le

même sens, de sorte que la valeur de φ' est donnée par l'équation

$$f, (\varphi' + p')\, \rho' = \varphi' r',$$

ρ' et r' étant les rayons des tourillons et du cercle primitif du pignon de la filature. On en tire

$$\varphi' = \frac{f, p' \rho'}{r' - f, \rho'}.$$

Pour le pignon supérieur, on a

$p = 850^k$; $\rho = 0^m,08$; $f, = 0^m,12$, à très-peu près. $r = 0^m,63$; on trouve, en effectuant les calculs,

$$\varphi = 12^k.51.$$

Pour le pignon de la filature, on a

$$p' = 108^k \; \rho' = 0^m.08; f, = 0.12; \; r' = 0^m.6,$$

et par suite

$$\varphi' = 16^k.75.$$

Ces efforts φ et φ' exercent sur les dents du grand cercle des pressions, d'où résulte un frottement dont la valeur moyenne est pour chacun d'eux (Voyez Cahier lithographié.)

$$f' \varphi \pi \frac{m + m'}{mm'} \quad \text{et} \quad f' \varphi' \pi \frac{m + m'}{mm'}.$$

En appelant

f' le rapport du frottement à la pression entre

les dents en fonte des pignons et les dents en bois du grand cercle, on a

$f_{,} = 0.08.$

$\pi = 3.14.$

$m = 46$, nombre de dents des pignons.

$m' = 200$, nombre des dents du grand rouet.

Il s'ensuit que l'effort moyen à exercer à la circonférence du grand cercle, pour vaincre le frottement de ces engrenages est

$$(\varphi + \varphi') \times 0.08 \times 3.14 \times \frac{246}{9200} = 29^{k}.26 \times 0.0067 = 0.196.$$

Cet effort, joint aux deux autres $\varphi = 12,52$ et $\varphi' = 16^{k},75$, donne pour l'effort moyen à exercer à la circonférence primitive de ce grand cercle, pour vaincre les résistances passives provenant du mouvement des deux petits pignons,

$$12^{k},51 + 16^{k},75 + 0^{k},196 = 29^{k},45.$$

Considérons maintenant ce qui se passe autour de l'axe du grand cercle d'engrenage, et pour cela appelons

p'' le poids total de l'arbre du grand cercle et du pignon intérieur à la roue. Il se compose du

poids de l'arbre.	1571k.
poids du grand cercle. .	6000
poids du pignon. . . .	1000
poids total ou. . . . . $p''=$	8571k.

$R' = 2^m,63$, le rayon primitif du grand cercle.

$F =$ la charge totale du frein.

$L = 6^m,01$, bras de levier de F.

$r'' = 0^m,89$, le rayon du pignon intérieur à la roue.

$P' =$ l'effort qui agit à l'extrémité de ce bras de levier, ou à la circonférence primitive du pignon intérieur, pour vaincre les résistances passives et tenir en équilibre la charge du frein.

Cet effort P', qui est transmis par le cercle denté que porte la jone de la roue hydraulique, agit tangentiellement à la circonférence primitive du pignon intérieur sous un angle de 40° avec la verticale. Si nous le décomposons en deux autres, l'un horizontal et égal à

$$P' \sin. 40°;$$

l'autre vertical et égal à

$$P' \cos. 40°,$$

nous pourrons regarder les tourillons de l'arbre de couche comme soumis aux pressions horizontales, $P' \sin. 40° - \varphi\left(1 + f'\pi\frac{m+m'}{mm'}\right)$, et aux pressions verticales,

$$p'' + F + P' \cos. 40° - \varphi\left(1 + f'\pi\frac{m+m'}{mm'}\right) (a).$$

(a) Même observation qu'à la note de la page 399.

La résultante de ces deux groupes de forces produira sur les tourillons de l'arbre de couche du grand cercle, un frottement exprimé par

$$f_{,}\sqrt{\left\{p''+F+P'\cos.40^{\circ}-\varphi'\left(1+f'\pi\frac{m+m'}{mm'}\right)\right\}^{2}+\left\{P\sin.40^{\circ}-\varphi\left(1+f\pi\frac{m+m'}{mm'}\right)\right\}^{2}}.$$

Dans cette équation,

$$\varphi'\left(1+f'\pi\frac{m+m'}{mm'}\right)=16^{k}.86, \text{ et}$$

$$\varphi\left(1+f\pi\frac{m+m'}{mm'}\right)=12^{k}.59.$$

$$f_{,}=0{,}12.$$

Les autres quantités sont connues, à l'exception de F et de P'.

$$\text{Cos. } 40^{\circ}=0{,}76\text{ ; sin. } 40^{\circ}=0{,}64,$$

et en remplaçant le radical par sa valeur rationnelle exacte à $\frac{1}{25}$ près, on a, pour le frottement sur les tourillons de l'arbre de couche,

$$0.12\left\{\begin{array}{l}0.96\times857 1^{k}+0.96\,F+0.96\times0.76\,P' \\ -16^{k}.86\times0.96+0.\,4\times0{:}64\,P' \\ -0.54\times12^{k}{,}59.\end{array}\right\}$$

ou en effectuant les calculs indiqués,

$$984^{k}.83+0.115\,F+0.985\,P'^{\text{kil.}},$$

valeur dans laquelle F sera donnée pour chaque expérience, et où P' restera seul à déterminer.

Cela posé, la force P' doit faire équilibre à la charge F du frein, dont le moment par rapport à l'axe est FL; à l'effort de $29^k,35$ nécessaire pour surmonter les résistances passives provenant des deux pignons, et dont le moment est

$$29^k.35 \times R';$$

et enfin au frottement dont nous venons de trouver l'expression, et dont le moment est

$$(984^k.83 + 0.115\,F + 0.985\,P')\,\rho'',$$

en appelant $\rho'' = 0^m,13$ le rayon du tourillon de l'arbre de couche.

Si nous désignons par $r'' = 0^m,89$ le rayon du cercle primitif du pignon intérieur à la roue, le moment $P'r''$ de la force P' devra être égal à la somme des momens ci-dessus, et l'on aura

$$P'r'' = FL + 29^k.35\,R' + (984^k.83 + 0.115\,F + 0.985\,P')\,\rho'';$$

en substituant les données numériques constantes dans cette équation, elle se réduit à

$$P' = 7.907\,F + 269^k.29,$$

qui pour chaque expérience donnera la valeur de P' lorsqu'on y mettra celle de F.

De cette résistance P' résulte entre les dents du pignon intérieur et celles du grand cercle

denté qui porte la roue, un frottement dont l'effort moyen a pour valeur

$$f'' P' \pi \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}.$$

En désignant

par f'' le rapport du frottement à la pression, pour des dents en fonte sur d'autres dents en fonte, avec enduit de suif, rapport dont la valeur est $0^m,10$;

par $m_1 = 66$ le nombre de dents du pignon;

par $m_2 = 360$ le nombre de dents du cercle denté.

Il suit de là que l'effort à exercer par le cercle denté sur le pignon a pour valeur moyenne

$$P' \times \left(1 + f'' \pi \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}\right) = P' \times 1.0053 = P''.$$

Autour de l'axe de la roue hydraulique parvenue à l'uniformité de mouvement, il doit y avoir équilibre à chaque instant entre cette force P'' considérée comme résistance, l'effort P transmis par le moteur, que l'on peut considérer comme vertical, et le frottement sur les tourillons de la roue. Celui-ci est dû à la résultante de la pression horizontale P'' sin. 40°. et des pressions verticales produites par le poids M de la roue $= 25{,}000$ kil., par l'effort cherché P, et par le poids Q de l'eau contenue dans les augets, dimi-

nuées de la pression due à la composante verticale $P''\cos. 40^\circ$. (*a*).

Cette résultante peut se mettre sous la forme rationnelle exacte à $\frac{1}{25}$ près,

$$0.96\,(M+P+Q-P''\cos. 40^\circ)+0.4\,P''\sin. 40^\circ,$$

ou, en mettant pour cos. 40°. et sin. 40°. leurs valeurs 0.76 et 0.64,

$$0.96\,(M+P+Q)-0.473\,P'',$$

elle produit un frottement

$f_{,}\,(0.96\,(M+P+Q)-0.473\,P'')$, où nous savons que $f_{,}=0.12$.

L'équation d'équilibre entre P', P'' et ce frottement sera, en désignant par R le rayon moyen des augets, qui est aussi celui du cercle primitif de l'engrenage, et qui a pour longueur $4^{m}.40$, et par $\rho'''=0^{m}.118$, celui des tourillons de la roue,

$$P'R=P''R+f_{,}\rho'''(0.96(M+P+Q)-0.473\,P'');$$

on en tire,

$P'=1.001\,P''+0.0031\,(M+Q)$, ou en mettant pour P'' sa valeur,

$P''=1.0053\,P'=1.0053\,(7.907\,F+26^{k}.929)$,

(*a*) Nous négligeons ici la force de l'action centrifuge, qui est peu de chose, par suite de la faible vitesse de la roue.

on trouve, toutes réductions faites,

$$P = 345^{\text{kil.}} + 7.957\,F + 0.003\,Q^{\text{kil.}}.$$

Le poids Q de l'eau contenue dans la roue serait difficile à calculer exactement, parce que la force centrifuge combine son action avec la pesanteur; mais nous pouvons observer que le terme qui en dépend sera toujours très-petit. En effet, les augets peuvent sans erreur sensible, vu le grand diamètre de la roue, être regardés comme des prismes, dont la base est un trapèze de $0^{m},27$ de hauteur, et dont les côtés parallèles sont égaux à $0^{m},30$, et $0^{m},13$; leur longueur intérieure étant d'ailleurs de $3^{m},155$, on trouve pour leur volume $0^{m},183$; or en admettant même qu'il y ait 20 augets entièrement pleins, ce qui n'arrivera jamais, le terme $0,003\,Q$, ne monterait qu'à 11 kilogrammes, quantité qui ne sera pas la millième partie de la valeur de P. On voit donc qu'il est permis d'en faire abstraction, et de réduire la valeur de P à l'expression très-simple

$$P = 345^{\text{kil.}} + 7.957\,F,$$

d'où l'on tire immédiatement la valeur de P relative à chacune de nos expériences.

Cette quantité P est l'effort moyen que le moteur transmet à chaque instant à la circonférence milieu des augets; en la multipliant par la vitesse de cette circonférence, déduite de l'obser-

vation, nous aurons, pour chaque expérience, le travail réellement transmis à la roue par le moteur; c'est là l'effet utile réel de la roue; en en retranchant l'effet donné par le frein, on a la quantité d'action ou de travail consommée par les frottemens.

Nous avons ensuite calculé l'effet théorique de la roue d'après la formule

$$Pv = mgh + m(V - v)v,$$

donnée par M. Poncelet dans ses leçons de 1826, à l'école d'application, dans laquelle nous rappellerons que v est la vitesse à la circonférence moyenne des augets, m la masse d'eau dépensée en 1″, laquelle est égale à $\frac{1000.Q}{g}$ kil., Q étant le volume d'eau dépensé en 1″, et $g = 9^m,8088$ étant la gravité.

h est la hauteur du point où la roue reçoit l'eau, au-dessus de celui où elle la quitte; la théorie suppose cette quantité égale à la hauteur du point d'afluence, au-dessus du point inférieur de la roue.

V est la vitesse avec laquelle l'eau arrive à la circonférence moyenne des augets.

L'observation nous ayant fourni pour chaque expérience les quantités m, h, V et v, il nous a été facile de calculer l'effet théorique de la roue, et de trouver par suite le rapport de l'effet utile réel à cet effet théorique, ce qui donne le coeffi-

cient de correction à appliquer à la formule dans chaque cas, pour qu'elle représente les résultats de la pratique.

Quoique nous ayons négligé, comme nous l'avons dit plus haut, l'action du poids de l'eau contenu dans les augets, nous avons cependant consigné, dans une des colonnes du tableau, le volume approximatif de l'eau à introduire dans chaque auget, d'après la vitesse de la roue et la dépense du cours d'eau. Cette quantité dépend de l'action combinée de la pesanteur et de la force centrifuge, mais nous l'avons simplement calculée en divisant la dépense d'eau en 1″, par le nombre d'augets qui passent devant l'orifice dans le même temps. On verra que cette approximation suffit bien pour l'usage que nous ferons du résultat.

Expériences faites en août 1829 sur la roue hydraulique à augets

Numéros		Quantité d'action ou de travail fournie par le moteur en 1''.		Charge du frein.			Vitesse que le crochet du frein tendait à prendre en 1''.	Quantité d'action ou de travail mesurée par le frein, ou travail disponible.		Rapport de la quantité de travail disponible à celle qui est fournie par le moteur.
des séries.	des expér.	en kil. élevés à 1m. en 1''.	en chev. de 75 k. m.	constante.	variable.	totale.		en k. m.	en chev.	
		k. m.	chev.	k.	k.	k.	m.	k. m.	chevaux.	
1	1	2626	35.01	132	»	132	12.58	1660	22.13	0.63
	2			132	80	212	8.77	1859	24.78	0.71
	3			132	120	252	7.70	1940	25.86	0.74
	4			132	160	292	5 89	1720	22.93	0.66
	5			132	200	332	»	»	»	»
2	1	3838	51.17	132	40	170	14.51	2496	33.28	0.65
	2			132	80	212	12.17	2580	34.40	0.67
	3			132	160	292	8.57	2503	33.37	0.65
	4			132	200	332	7.70	2557	34.09	0.66
	5			132	240	372	»	»	»	»
3	1	5951	79.34	132	»	132	20.97	2767	36.89	0.46
	2			132	40	172	17.99	3094	40.98	0.52
	3			132	80	212	15.72	3344	44.58	0.56
	4			132	160	292	12.17	3554	47.39	0.60
	5			132	200	332	11.04	3666	48,88	0.62
	6			132	240	372	6.99	2599	33.32	0.60
	7			132	280	412	»	»	»	»

de MM. Schlumberger, à Guebwiller, département du Haut-Rhin.

Vitesse d'affluence de l'eau dans les augets.	Valeurs de *h*.	Vitesses de la circonférence moyenne des augets.	Effet théorique de la roue.	Effet utile total, ou quantité d'action transmise à la circonférence moyenne des augets.	Rapport de l'effet utile total à l'effet théorique.	Volume d'eau à introduire dans chaque auget.	Quantité d'action consommée par les frottemens en 1''.	OBSERVATIONS.
•	m.	m.	k. m.	k. m.		m. c.	k. m.	
		1.69	2548	2357	0.92	0.060	697	
		1.18	2555	2398	0.94	0.086	539	
3.01	7.31	1.03	2541	2420	0.95	0.098	480	
		0.79	2531	2108	0.83	0.128	388	
		•	•	•	•	•	•	La roue a été arrêtée.
		1.95	3692	3342	0.91	0.078	846	
		1.64	3693	3331	0.90	0.090	752	
3.38	7.19	1.15	3681	3168	0.87	0.129	665	
		1.04	3674	3106	0.85	0.142	549	
		•	•	•	•	•	•	La roue a été arrêtée.
		2.82	5612	3934	0.70	0.081	1167	
		2.42	5661	4148	0.73	0.095	1054	
		2.12	5681	4308	0.76	0.108	964	
3.68	7.08	1.64	5684	4376	0.77	0.146	822	
		1.49	5678	4451	0.78	0.154	785	
		0.94	5624	3295	0.58	0.244	696	
		•	•	•	•	•	•	La roue a été arrêtée.

En comparant entre elles les trois premières expériences de la 1re. série et les deux premières de la seconde, nous voyons que la vitesse de la circonférence de la roue variant depuis 1m. jusqu'à 2m environ, et le volume d'eau introduit dans les augets ne dépassant pas la moitié de leur capacité, que nous avons trouvée égale à 0mc,183, le rapport de l'effet total à l'effet théorique donné par la formule, est moyennement 0,92; quoiqu'il varie peu dans ces cinq expériences, il paraît devoir être plus fort pour les vitesses voisines de 1m, que pour celles qui sont plus grandes. Dans cet effet total transmis à la roue, les frottemens de la communication de mouvement entrent pour une certaine portion, dont nous avons obtenu la valeur, en retranchant de l'effet total l'effet mesuré par le frein; l'inspection de l'avant-dernière colonne nous montre qu'il y a un avantage notable à diminuer la vitesse des pièces de la transmission dont le poids est considérable et qui consomment en frottemens une quantité d'action qui s'élève, dans quelques expériences, à 0,43 de l'effet mesuré par le frein.

La 4e. expérience de la 1re. série, et les 3e. et 4e. de la seconde série, ne nous donnent plus que 0,85 pour la valeur moyenne du rapport de l'effet total à l'effet théorique, quoique les vitesses soient petites et comprises entre 0m,79 et 1m,15 par seconde; mais il faut observer que le volume d'eau

introduit dans les augets, dépasse les deux tiers de leur capacité totale, et que le versement de l'eau diminue plus rapidement la force motrice que dans les expériences citées plus haut.

Dans les cinq premières expériences de la 3e. série, le rapport dont nous nous occupons est plus faible que dans les précédentes. On observe qu'il tend à s'accroître assez lentement à mesure que la vitesse diminue, et qu'à celle de 0^{m},94 par seconde, il tombe brusquement de 0,78 à 0,58. Dans cette série, la dépense d'eau était très-grande, et en examinant les circonstances particulières de chaque expérience, on trouve deux causes qui influent en sens contraire sur la valeur de ce rapport. Dans les premières expériences, la vitesse de la roue est très-grande, et le volume d'eau introduit est au contraire à peine la moitié de la capacité des augets; la force centrifuge, proportionnelle au carré de la vitesse, accélère le versement de l'eau et diminue le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique, qui est calculé en faisant abstraction de cette force. A mesure que la vitesse diminue, le rapport tendrait à augmenter par cette cause, mais le volume d'eau reçue par les augets s'accroissant en raison inverse de la vitesse, la capacité des augets se remplit de plus en plus, et le versement de l'eau commence d'autant plus tôt. A la sixième expérience de cette serie, le volume d'eau que chaque auget devrait recevoir

dépasse sa capacité, et il y a alors un changement brusque dans le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique.

Ces observations suffisent pour faire sentir pourquoi la formule dont nous nous sommes servis ne peut pas être modifiée par un coefficient constant. On voit que cela vient de ce qu'elle fait abstraction de la force centrifuge, du versement de l'eau, et de la quantité qui en est introduite dans les augets.

La dilatation du collier en fonte qui recevait notre frein, ayant amené sa rupture, il ne nous a pas été possible de profiter de toute la complaisance de MM. Schlumberger, et nous avons dû borner nos expériences à celles qui sont consignées dans le tableau précédent. Quoiqu'il ne soit pas aussi complet qu'on pourrait le désirer, il semble qu'on peut en tirer les conclusions suivantes :

1°. Le volume d'eau à introduire dans les augets ne doit pas dépasser la moitié de leur capacité ; avec cette condition, on pourra réaliser environ 0,92 de l'effet théorique, avec une vitesse de 1^m à 2^m par seconde, à la circonférence de la roue; mais la quantité d'action consommée par les frottemens, croissant avec la vitesse, il sera plus convenable de se borner à 1^m de vitesse par seconde à la circonférence moyenne des augets.

2°. Si le volume d'eau à dépenser et la capa-

cité des augets sont donnés, il faut régler la vitesse de la roue de manière que le volume de liquide à introduire dans chaque auget ne dépasse pas les deux tiers de sa capacité. Dans ce cas, si les vitesses ne sont pas trop grandes, on pourra réaliser 0,85 de l'effet théorique; mais si la vitesse dépasse 2^m, même quand les augets ne seraient qu'à moitié pleins, le rapport ne sera plus que de 0,75 à 0,70 et diminuera à mesure que la vitesse augmentera.

Ces résultats ne sont d'ailleurs applicables qu'à de grandes roues, et à des circonstances de construction analogues à celle qui nous occupe; parce que, dans de petites roues, des vitesses de 2^m à la circonférence auraient une influence beaucoup plus grande.

Pour apprécier en masse la quantité d'action ou de travail consommé par les résistances passives de toutes les machines de cette filature, nous avons fait embrayer toutes les communications de mouvement. Avec une dépense de $0^m,197$ d'eau par seconde, et une chute de $7^m,66$, la roue marchait à la vitesse de $1^m,59$ par seconde, ce qui correspond à environ 18 tours de l'arbre de couche du grand cercle en 1′, vitesse qu'elle prend ordinairement. La dépense d'eau étant faible, cette expérience est dans le cas de celle où le rapport de l'effet réel à l'effet théorique est égal

à 0,92, de sorte qu'en appliquant les données à la formule, ce qui revient à y faire

$mg = 197^{k.m.}; h = 7^{m}.185; V = 3^{m}.04; v = 1^{m}.59$

nous trouvons pour l'effet théorique

$1451^{k.m.}$

et pour l'effet utile total

$1451^{k.m.} \times 0.92 = 1335^{k.m.} = 17{,}80^{ch.}$.

La machine faisait alors mouvoir à vide les métiers de 23000 broches, avec toutes les machines de préparation, ce qui établit une dépense moyenne de 1,29 cheval-vapeur par 1000 broches, pour vaincre les résistances passives des machines.

Expériences sur la roue hydraulique de la fonderie de Toulouse.

Le moteur de la forerie de la fonderie de Toulouse est une roue à aubes, qui se rapproche des roues de côté, en ce que l'intervalle entre les aubes est à moitié fermé par un fond, et qu'elle reçoit l'eau à $0^{m}.50$ au-dessus de son point inférieur, de sorte qu'il y a choc et pression de l'eau sur les aubes. (*Pl. VI*, *fig.* 6.)

La vanne est inclinée à $34^{\circ}.30'$ sur la verticale; l'eau qu'elle laisse échapper quand elle est levée, suit un plan incliné à $9^{\circ}.25$ et de $0^{m}.78$

de longueur; à partir de l'extrémité de ce plan, un arc de cercle concentrique à la roue forme le fond du coursier, dans lequel la roue n'a en dessous et de côté qu'un centimètre de jeu.

Le diamètre de la roue est de 6 mètres extérieurement, le nombre des aubes est de 36, elles sont dirigées dans le sens du rayon, et ont $0^m.50$ de largeur sur $1^m.60$ de longueur parallèle à l'axe.

L'arbre de la roue hydraulique pénètre dans l'atelier de la forerie, et porte une roue conique à double denture en fonte *a* (*fig.* 5), qui de part et d'autre fait tourner deux autres roues coniques à dents en fonte *bb*. Sur l'axe de chacune de ces roues *b* est montée une roue plane *c* à dents en fonte, qui transmet le mouvement à deux autres roues planes à dents en bois *dd*; celles-ci entraînent les pièces dans leur mouvement au moyen de manchons.

Nous nous bornerons aux détails précédens sur le mécanisme de l'usine; ils étaient indispensables pour l'intelligence du calcul de nos expériences, et nous renverrons pour le reste de la description aux figures 5 et 6 (*pl. VI*), et aux dessins lithographiés du cours des fonderies.

Le frein employé dans les expériences a été placé sur l'arbre même de la roue, que l'on avait tourné à cet effet. Les poids étaient suspendus à

3 mètres du plan vertical passant par l'axe de la roue, et le poids du frein rapporté à cette distance équivalait à 60 kilogrammes. Cette quantité augmentée de 8k.81, pour tenir compte, comme on le verra, des frottemens résultans de la communication de mouvement, formait ce que nous avons appelé la charge constante du frein.

La largeur de l'orifice est de 1m.55, et il est disposé de manière qu'il n'y a pas de contraction sur le fond, ni sur les côtés, et comme la vanne est inclinée à 34°, nous avons pris 0.75 pour le coefficient de la contraction d'après les expériences de M. Poncelet, insérées dans son mémoire sur les roues à aubes courbes. Le niveau de l'eau était tenu constant pendant les expériences, et rapporté à un repère fixe.

On a pris pour chute totale la hauteur de ce niveau au-dessus du point inférieur de la roue, ce qui correspondait au niveau d'aval.

La vitesse de la roue était observée à l'aide d'une montre à secondes mortes. L'épaisseur d'eau étant variable, le rayon moyen de la partie choquée changeait avec les levées de vanne. On l'a obtenu, pour chaque série d'expériences, en diminuant le rayon extérieur de la roue de la demi-épaisseur de l'eau sur le plan incliné, ou de la demi-levée de la vanne. C'est ainsi qu'on a calculé les nombres désignés sous le nom de *vitesse du centre d'impulsion des aubes*.

Quant à la vitesse de l'eau affluente, elle a été calculée en ajoutant à la charge, sur le centre de l'orifice, la pente de 0m.128 du plan incliné, et en regardant cette somme comme la hauteur à laquelle était due la vitesse cherchée.

La disposition de l'usine ne permettait pas de désengrener les roues de la communication des mouvemens pendant les expériences. Il était donc nécessaire de tenir compte de la quantité d'action ou de travail qu'elles consommaient; et, comme cette quantité est proportionnelle à la vitesse, et ne dépend d'ailleurs que du poids constant de ces pièces, et du rapport du frottement à la pression pour les substances en contact, on voit que cette recherche revient simplement à celle d'un poids constant à ajouter à la charge du frein, et qui tiendra lieu de la résistance opposée par les frottemens résultans de ces communications de mouvemens.

Soit :

q Le poids d'une des quatre roues d à dents en bas,

$f_{\prime} = \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$; f étant le rapport du frottement à la pression pour les axes en fer avec coussinets de cuivre;

ρ'' le rayon du tourillon de l'arbre de la roue d;

R'' le rayon du cercle primitif de la roue d.

Il est facile de voir que l'effort à exercer à la circonférence du cercle primitif pour vaincre le frottement de cette roue sur ses coussinets, aura pour expression,

$$\frac{f_{,} q \rho''}{R''}, \qquad (a)$$

En y substituant les valeurs numériques $f_{,}=0{,}12$; $q=390^{k}$; $\rho_{,,}=0^{m}{,}07$; $R_{,,}=0^{m}{,}65$; relatives à ces roues d, on trouve, pour l'effort cherché,

$$5^{k}{,}03.$$

En le considérant comme la résistance que doit vaincre l'engrenage de la roue à dents en fonte c, le frottement qui en résultera entre ces dents et celles de la roue d aura pour valeur moyenne,

$$5^{k}.03 \times f'\pi \frac{m+m}{mm'}. \text{ (Cahier lithographié.)}$$

(a) En appelant $P_{,}$ cet effort, pour celle des roues qui est appuyée sur ses coussinets par la puissance, et $P_{,,}$ sa valeur pour la roue que l'effort tend à soulever, on aurait pour la 1re.

$P_{,}R''=f_{,}(q+P_{,})\rho''$, et pour la 2e. $P_{,,}R''=f_{,}(q+P_{,,})\rho''$;
en ajoutant ces deux équations on aura, à cause de la très-petite différence des termes, $f_{,}\rho''P_{,}$ et $f_{,}\rho''P_{,,}$,

$\frac{P_{,}+P_{,,}}{2}=\frac{f_{,}q\rho''}{R''}$; c'est cette valeur moyenne que nous avons adoptée pour simplifier les calculs.

$f' = 0{,}07$ pour des dents en fonte, frottant sur sur des dents en bois avec enduit de suif.

$\pi = 3{,}14$

$m = m' = 50$, nombre de dents des roues c et d, et l'on trouve, tous calculs faits,

$$0^k{,}044$$

pour l'effort moyen à exercer à la circonférence primitive de la roue c pour vaincre le frottement de l'engrenage ; de sorte que pour chacune des roues d, il faut transmettre aux roues c un effort égal à

$$5^k{,}03 + 0^k{,}044 = 5^k{,}074,$$

agissant à leur circonférence primitive, ce qui fait pour les deux roues d, qui engrènent avec la même roue c,

$$10^k{,}148.$$

La roue c n'est pressée sur ses coussinets que par son propre poids, parce que des deux résistances qu'elle éprouve de la part des roues d, l'une tend à l'appuyer, l'autre à la soulever, et qu'il y a compensation. La pression de la roue b tend de même à augmenter le frottement d'une des roues c sur ses coussinets, et à diminuer celui de l'autre; et les poids et les dimensions étant très-sensiblement les mêmes de part et d'autre, il y encore compensation. Si donc nous appelons

q' le poids de l'arbre de la roue c, et de la roue d'angle b,

ρ' le rayon des tourillons,

$f' = \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$, ayant la même valeur que ci-dessus.

R''' le rayon du cercle primitif de l'engrenage conique b,

$$\frac{f_{\prime}\, q'\, \rho'}{R'''}$$

sera l'expression de l'effort à exercer à la circonférence du cercle primitif, pour vaincre le frottement sur les tourillons d'une des roues c.

La substitution des nombres

$q' = 835^{\text{kil.}}, f_{\prime} = 0{,}12$, $\rho' = 0^{\text{m}},07$, $R''' = 0^{\text{m}},65$,

donne pour cet effort,

$$10^{\text{k}},771,$$

qui, joint à celui de $10^{\text{k}},148$ trouvé plus haut, donne

$$20^{\text{k}},919$$

pour la résistance qu'éprouve l'engrenage conique. Il résulte, de cette résistance, un frottement entre les dents en fonte des deux roues coniques, et son effort moyen a pour expression,

$$f \cdot 20^{\text{k}}.919 \times \pi \cdot \frac{m+m'}{mm'}.$$

On a encore ici

$$m = m' = 50;\quad \pi = 3{,}14.$$

$f = 0,10$ est le rapport du frottement à la pression pour des dents en fonte sur des dents en fonte avec enduit de suif. Ce qui donne, en effectuant les calculs,

$$0^k,261$$

pour le surcroît de résistauce occasioné par le frottement de l'engrenage; de sorte que l'effort total à exercer à la circonférence primitive de la roue conique a, pour vaincre la résistance due à la communication de mouvement d'un des côtés de l'arbre, est

$$20^k,919 + 0^k,261 = 21^k,18.$$

Et, comme l'autre communication est entièrement semblable de poids et de dimensions, il s'ensuit que la résistance qu'elles offrent toutes deux au mouvement de la roue peut être remplacé par uu effort de

$$42^k,36,$$

exercé à la circonférence primitive du cercle conique a monté sur l'arbre.

Le rayon moyen de la roue a étant $0^m,60$, et celui du frein étaut de 3^m, on voit que cette résistance équivaudra à une augmentation constante de la charge du frein égale à

$$\frac{0.60}{3} \cdot 42^k,36 = 8^k,47.$$

La résistance des communications de mouvement étant également répartie à droite et à gauche de l'arbre, ne produit aucune pression sur ses coussinets; et celle qui a lieu réellement, est due,

1°. Au poids propre de l'arbre, de la roue, de l'engrenage *a*, des tourillons, ferrures, etc., que nous désignons par M, et qui est égal en tout à 5289k,5;

2°. A la charge totale du frein que nous appelons F, qui agit verticalement, ainsi que le poids $M = 5289^k,5$, auquel elle s'ajoute (*a*);

3°. A l'effort horizontal transmis par le moteur à la circonférence du centre d'impulsion des aubes, et que nous désignerons par P.

La résultante de la pression verticale $M + F$, et de l'effort horizontal P, peut être exprimée rationnellement à $\frac{1}{11}$ près (cahier lithographié, etc.), par

$$0,96\,(M + F) + 0,4\,P;$$

et le frottement qu'elle produit sur les tourillons sera

$$0,96 f_{,}\,(M + F) + 0,4 f_{,}\,P.$$

(*a*) Il faut faire ici, relativement à la pression qu'exerce le poids propre du frein sur tourillon, la même observation que dans la note de la page 399.

Le mouvement étant parvenu à l'uniformité, il doit y avoir, pour chacune de nos expériences, équilibre autour de l'axe de l'arbre; d'une part entre l'effort P, et de l'autre entre la charge F du frein et le frottement sur les tourillons. Si donc nous appelons

$L=3^m$, le bras de levier de la charge du frein,
$\rho=0^m,06$, le rayon des tourillons de la roue,
R le rayon du centre d'impulsion des aubes,
nous aurons pour l'équation des mouvemens autour de l'axe,

$$PR=FL+0,96f_{,}(M+F)\rho+0,4f_{,}P\rho, \text{ d'où}$$
$$P(R-0,4f_{,}\rho)=F(L+0,96f_{,}\rho)+0,96f_{,}M\rho.$$

Les valeurs de R dépendent, comme nous l'avons dit plus haut, du levier de vanne, et l'on a pour la

1re. série d'expériences où la levée est de.	$0^m.049$	$R=2^m.987$
2e.	$0^m.099$	$R=2^m.975$
3e.	$0^m.147$	$R=2^m.963$
4e.	$0^m.192$	$R=2^m.952$
5e.	$0^m.198$	$R=2^m.950$
6e.	$0^m.248$	$R=2^m.938$
7e.	$0^m.247$	$R=2^m.938$
8e.	$0^m.297$	$R=2^m.925$

En substituant ces diverses valeurs de R, et effectuant les calculs, on tire de l'équation précé-

dente les valeurs de P en fonctions de F, et on trouve, toutes réductions faites, pour la

1re. série	$P = 1^m.007\,F + 12^k.23$
2e.	$P = 1^m.012\,F + 12^k.28$
3e.	$P = 1^m.016\,F + 12^k.33$
4e.	$P = 1^m.019\,F + 12^k.37$
5e.	$P = 1^m.020\,F + 12^k.38$
6e.	$P = 1^m.024\,F + 12^k.43$
7e.	$P = 1^m.024\,F + 12^k.43$
8e.	$P = 1^m.029\,F + 12^k.49$

Chacune de ces expressions, appliquée à la série d'expériences à laquelle elle se rapporte, donnera la valeur de P au moyen de la charge F du frein. D'après ce que nous avons vu plus haut, cette charge se compose d'une partie constante due au poids propre du frein et aux résistances passives de la communication du mouvement, et dont la valeur est de

$$68^k,47,$$

et d'une autre partie que nous avons appelée la charge variable. Le poids réellement soutenu en équilibre est la somme des deux précédens, et nous l'avons désigné par le nom de charge totale du frein.

En multipliant les valeurs de R données par les formules ci-dessus, par la vitesse du centre d'impulsion des aubes, on aura, pour chaque expérience, la quantité d'action ou de travail réel-

lement transmise à la roue par le moteur; c'est ce que nous avons appelé l'effet utile total.

La comparaison des quantités d'action ainsi trouvées, avec celles que l'on déduit directement de la formule théorique des roues de côté, donnée par M. Poncelet, dans son cours de 1828, à l'école d'application, fournit le rapport de l'effet utile total, à l'effet théorique de la roue; c'est le coëfficient de correction de la formule pour chaque cas.

Cette formule est

$$Pv = mgh + m\,(V - v)\,v^{k.m}.$$

P désigne l'effort transmis à la circonférence des centres d'impulsion des aubes.

h la hauteur verticale que l'eau parcourt sur la roue; pour l'obtenir, on a retranché de la hauteur du seuil au-dessus du fond du coursier, qui est égale à $0^m,50$, la pente du plan incliné $= 0^m,128$, et l'on a ajouté au reste $0^m,362$, la demi-levée de la vanne dans chaque expérience.

v la vitesse à la circonférence des centres d'impulsion en $1''$.

V la vitesse de l'eau affluente en $1''$.

m la masse de l'eau dépensée en $1''$,

Si l'on appelle $1000Q$ le poids de cette eau en kilogrammes, Q étant un volume exprimé en

mètres cubes, et $g = 9^m,81$ la gravité, on pourra mettre la formule sous la forme

$$Pv = 1000\ Qh + \frac{1000\ Q}{g}(V - v)\ v.$$

Les poids $1000Q$ sont donnés dans la 6e. colonne, les vitesses v dans la 10e., les vitesses V dans la 11e., et l'effet théorique Pv dans la 20e. colonne du tableau suivant, où sont consignés les données et les résultats de nos expériences.

Les levées de vanne contenues dans la 3e. colonne, sont les ouvertures réelles de l'orifice, et non pas les quantités dont la vanne a glissé sur son plan incliné.

Pour appliquer l'équation ci-dessus à la roue de la fonderie de Toulouse, il faut remarquer que les vitesses V, données dans la 11e. colonne du tableau, sont les vitesses réelles de l'eau affluente, et que la formule est établie en supposant que la direction des aubes soit perpendiculaire à celle de l'eau, ce qui n'a pas exactement lieu dans cette roue. L'angle formé par l'aube dans sa position moyenne avec la direction du plan incliné, qui est aussi celle de l'eau, est de 74°. La vitesse avec laquelle l'eau choque l'aube perpendiculairement à sa surface, est donc V cos. 74° $= 0.9659\ V$, au lieu de V. Il faudra donc remplacer, dans la formule générale, V par $0,9659\ V$, et elle deviendra

$$Pv = 1000\,Qh + \frac{1000\;Q}{g}\,(0.9659\,V - v)\,v^{\text{k. m.}}$$

C'est sous cette dernière forme que nous l'avons employée pour calculer l'effet théorique Pv de la roue, dont les valeurs sont consignées dans la 20ᵉ. colonne.

Expériences faites en septembre 1828 *sur la*

NUMÉROS Des séries.	NUMÉROS Des expériences.	Levée de la vanne.	Aire de l'orifice.	Charge d'eau sur le centre de l'orifice.	Volume d'eau dépensé en 1″.	Chute totale.	Quantité d'action dépensée en 1″ par le moteur.	Nombre des tours de la roue hydraulique et des pièces en 1″.	Vitesse du centre d'impulsion des aubes en 1″.	Vitesse de l'eau affluente en 1″.
		m.	m. c.	m.	m. cub.	m.	k. m.		m.	m.
1	1	0.049	0.07595	1.42	0.301	1.95	588	7.24	2.25	5.52
	2							7.50	2.34	5.52
	3	0.039	0.07595	1.46	0.305	1.99	607	8.33	2.60	5.59
	4							8.50	2.65	5.59
	5							9.25	2.88	5.59
2	6	0.099	0.15345	1.40	0.604	1.95	1178	9.00	2.78	5.47
	7							9.67	2.99	5.47
	8							11.09	3.44	5.47
	9							12.50	3.86	5.47
	10							13.00	4.01	5.47
3	11	0.147	0.22785	1.35	0.878	1.92	1686	9.75	2.99	5.38
	12							10.50	3.22	5.38
	13							14.03	4.30	5.38
4	14	0.192	0.29760	1.26	1.109	1.84	2046	8.33	2.57	5.22
	15							9.37	2.89	5.22
5	16	0.198	0.30690	1.27	1.151	1.87	2152	12.50	3.79	5.24
	17							13.50	4.10	5.24
6	18	0.248	0.38460	1.18	1.389	1.80	2507	9.23	2.84	5.07
7	19	0.247	0.38285	1.20	1.392	1.82	2540	9.34	2.87	5.10
	20							9.50	2.91	5.10
	21							11.50	3.53	5.10
	22							12.19	3.75	5.10
	23							13.50	4.15	5.10
8	24	0. 97	0.46035	1.10	1.605	1.74	2793	9.75	2.99	4.91
	25							11. 1	3.43	4.91
	26							12.19	3.73	4.91

roue hydraulique de la fonderie de Toulouse.

Rapport de la vitesse du centre d'impulsion des aubes à celle de l'eau.	Vitesse que le crochet du frein tendait à prendre en 1''.	CHARGE DU FREIN.			Effet utile donné par le frein, ou quantité de travail disponible en 1''.	Effet utile total, ou quantité de travail transmise à la circonférence du centre d'impulsion des aubes en 1''.	Quantité de travail dépensée par les frottemens en 1''.	Effet ou quantité d'action théorique en 1''.	Rapport de l'effet utile total à l'effet théorique.	Rapport de la quantité de travail disponible à celle qui est dépensée par le moteur.
		Constante.	Variable.	Totale.						
	m.	k.	k.	k.	k. m.	k. m.	k. m.	k.m.		
0.41	2.27	68.47	50	118.47	270	207	27	333	0.89	0.46
0.42	2.35	68.47	40	108.47	256	284	28	334	0.85	0.43
0.46	2.62	68.47	30	98.47	258	290	32	347	0.84	0.42
0.47	2.67	68.47	20	88.47	237	269	32	341	0.79	0.39
0.51	2.90	68.47	10	78.47	229	264	35	346	0.76	0.38
0.51	2.83	68.47	110	178.47	505	537	32	675	0.80	0.42
0.55	3.04	68.47	90	158.47	481	517	35	669	0.77	0.41
0.63	3.46	68.47	60	128.47	446	490	44	637	0.77	0.38
0.70	3.92	68.47	30	98.47	388	433	45	586	0.74	0.33
0.73	4.08	68.47	20	88.47	361	410	48	562	0.73	0.30
0.55	3.06	68.47	130	198.47	609	640	31	988	0.65	0.36
0.60	3.30	68.47	110	178.47	589	624	35	958	0.65	0.35
0.80	4.41	68.47	30	98.47	435	484	49	733	0.66	0.26
0.38	2.62	68.47	200	268.47	705	736	32	1 26	0.60	0.34
0.55	2.94	68.47	170	238.47	702	739	37	1220	0.60	0.34
0.72	3.92	68.47	100	168.47	662	701	39	1110	0.63	0.31
0.78	4.24	68.47	30	98.47	546	589	43	1007	0.58	0.25
0.56	2.90	68.47	230	298.47	866	903	37	1513	0.59	0.34
0.56	2.93	68.47	250	318.47	935	973	38	1523	0.64	0.37
0.57	2.97	68.47	230	298.47	887	926	39	1519	0.61	0.35
0.69	3.61	68.47	160	228.47	826	871	45	1384	0.63	0.32
0.73	3.83	68.47	130	198.47	761	810	49	1310	0.61	0.32
0.81	4.24	68.47	100	168.47	715	769	54	1141	0.67	0.28
0.60	3.66	68.47	250	318.47	976	1018	42	1690	0.60	0,34
0.70	3.52	68.47	200	268.47	947	991	44	1569	0.63	0.33
0.76	3.81	68.47	150	218.47	834	886	52	1449	0.61	0.29

En examinant les nombres contenus dans la colonne du rapport de l'effet utile total à l'effet théorique, nous voyons que ce rapport est beaucoup plus grand dans les expériences où la dépense d'eau et l'épaisseur de la lame sont faibles, que dans celles où elles sont plus fortes, et qu'il décroît jusqu'aux levées de vanne de $0^m,147$, au delà desquelles il paraît rester à peu près le même. Dans les expériences avec de faibles épaisseurs d'eau, ce rapport paraît décroître aussi à mesure que la vitesse augmente. Nous regrettons beaucoup de n'avoir pas pu répéter et multiplier davantage nos expériences, pour voir s'il eût été possible de trouver une loi dans ce décroissement.

Lorsque les épaisseurs d'eau ou les levées de vanne dépassent $0^m,1$ et jusqu'à celles de $0^m,3$ environ, qui sont les plus fortes que nous ayons pu donner, ce rapport paraît assez constant, et indépendant de la levée de la vanne et de la vitesse. Sa valeur moyenne 0,58, déduite de 14 expériences, s'écarte au plus de 0,04 de celles qui en diffèrent le plus, quoique le rapport des vitesses de la roue et de l'eau affluente ait varié du simple au double. Le coefficient de correction de la formule serait donc 0,58, quelle que soit la vitesse de la roue.

Avant d'employer ce rapport, il sera bon de s'assurer, par un calcul préalable, que toute

l'eau dépensée par l'orifice peut trouver place dans la roue. La capacité comprise entre deux aubes consécutives et leur fond est de $0^{m.c.},384$, et la plus forte dépense d'eau, dans nos expériences, a été de $1^{m},605$ par seconde. La plus faible vitesse de la roue, dans la série d'expériences relatives à cette dépense d'eau, était de 9,75 tours en 1'; ce qui correspond au passage de 5,8 aubes devant l'orifice en 1''. Ainsi le volume d'eau à admettre entre deux aubes consécutives n'était, dans ce cas, que de

$$\frac{1^{m.c.}.605}{5.8} = 0^{m}.376,$$

tandis qu'il en pouvait entrer $0^{m},384$; ainsi, dans toutes nos expériences, la totalité de l'eau dépensée a pu être admise dans la roue.

L'examen de la dernière colonne du tableau nous fait voir combien le rapport de la quantité de travail disponible à celle qui est dépensée par le moteur, est encore au-dessous de l'effet total. Nous avons compris dans ce dernier la quantité de travail consommée par les frottemens, et comme elle croît avec la vitesse, on voit que, toutes choses égales, le travail disponible sera d'autant plus faible que la vitesse sera plus grande. Nous trouvons, en effet, que dans chaque série de nos expériences le rapport, de ce travail disponible à celui que le moteur dépense, dimi-

nue à mesure que la vitesse augmente. Dans celles où la dépense d'eau est faible, et lorsque le rapport des vitesses de la roue est compris entre 0,45 et 0,55, le rapport de la quantité de travail disponible, à celle qui est dépensée, est d'environ 0,40 ; mais dans les dépenses d'eau plus fortes, il diminue et paraît être d'environ 0,34 ou $\frac{1}{3}$, lorsque le rapport de vitesse est compris entre 0,40 et 0,60.

Nous voyons donc que cette roue, quoique assez bien construite dans son espèce, et malgré le peu de jeu qu'elle a dans son coursier, n'utilise guère que le tiers de la force dépensée dans les cas les plus ordinaires. La chute étant comprise entre $1^m,75$ et 2^m environ, et la dépense d'eau étant assez forte, une roue à aubes courbes pourrait y être établie dans les circonstances les plus favorables au maximum d'effet, en faisant d'ailleurs peu de changemens à la prise d'eau, et il y a lieu de croire que si la construction en était faite d'après les principes indiqués par M. Poncelet, elle réaliserait environ 0,60 de la force dépensée, et doublerait à peu près le travail que l'on pourrait faire dans l'usine.

Cette forerie, dont le moteur transmet pour chaque ouverture de vanne et pour chaque vitesse de la roue, des quantités d'action ou de travail disponible assez bien connues d'après les expériences ci-dessus, serait très-propre

à déterminer, par une série d'observations, la quantité d'action nécessaire pour chaque opération de la forerie. On y a même déjà recueilli, dans ce but, un certain nombre de résultats; mais les opérations n'y sont pas isolées, parce que plusieurs bancs travaillaient ensemble, et d'ailleurs on n'y a pas tenu compte de la marche des couteaux à tourner, et d'autres circonstances qui ont une grande influence, de sorte qu'il n'est pas possible de s'en servir pour l'application des formules du tournage et du forage que nous donnerons par la suite. Il serait bien à désirer qu'on recommençât ces observations pour chaque calibre et pour chaque opération principale isolément, et ensuite concurremment, en tenant compte de l'avancement des forets, de celui des couteaux, des épaisseurs du métal qu'ils enlèvent, des longueurs de leur tranchant, etc., etc., et que toutes ces observations fussent faites d'abord à une vitesse de huit tours par minute pour les bouches à feu, puis de neuf, de dix, etc., etc.; on arriverait alors, par la substitution de ces données d'observation dans les formules, à la valeur de la résistance que le métal oppose à l'action des couteaux, et à celle des quantités d'action consommées dans les principales opérations.

Quoique nous n'ayons pas les données nécessaires pour calculer ces dernières quantités, nous pouvons cependant apprécier en bloc la force

nécessaire pour le service d'une forerie à quatre bancs. Nous voyons en effet que cette usine ne fournit au plus que

$$900 \text{ à } 975^{\text{k. m.}}$$

de quantité de travail disponible, ce qui correspond à un effet utile de 12 à 13 chevaux-vapeur de $75^{\text{k.m.}}$, ce qui démontre qu'une force moyenne de 3 chevaux suffit pour les opérations les plus difficiles du forage. Il est même assez rare que la machine marche à toute cette puissance, parce que les travaux se combinent de manière à ne consommer moyennement que 8 à 9 chevaux.

Nous terminons ce qui est relatif à cette forerie par un aperçu du prix de la journée de 12 heures de la force de cheval-vapeur. L'établissement de toute l'usine a coûté environ 40,000 fr. à l'entrepreneur; nous admettrons que la roue hydraulique et les communications de mouvement sont entrées pour moitié, et les bancs, tours, etc., pour l'autre moitié; nous comptons l'intérêt de de ce capital à 10 pour $\frac{o}{o}$, à cause de l'usé et des réparations fréquentes; le cours d'eau n'appartient pas à l'établissement, il était loué par l'entrepreneur à raison de 1,200 fr. en 1828; mais comme le bail était sur le point d'expirer, et qu'il était question d'une augmentation, nous mettons ce loyer à 2,000 fr., ce qui établit le prix du cours d'eau à 40,000 fr., valeur probablement

supérieure à celle qu'il peut avoir à Toulouse. Nous aurons donc, pour établir le prix de la force motrice de cette forerie, les données suivantes :

Intérêt du capital de l'usine à 10 pour $\frac{0}{0}$.	2000 fr.
Loyer du cours d'eau.	2000
Graisse, dents, coussinets, etc. .	250
Dépense annuelle.	4250

L'année de travail n'étant que de 300 jours, on a pour chaque jour une dépense de 14 fr. 16, pour obtenir une quantité d'action disponible de 12 chevaux-vapeur; mais parce que l'usine n'utilise que rarement toute cette force, et ne travaille moyennement qu'à huit chevaux à peu près, la force du cheval-vapeur dans cette forerie peut être évaluée à 1 fr. 78.

Ce prix n'est que le cinquième environ de ce que coûte la même force dans les manéges de Strasbourg, et rien n'empêchant de travailler plus de 12 heures par jour, et à toute la force de l'usine, on voit qu'il pourrait être réduit de beaucoup par la bonne combinaison des travaux.

Expériences sur l'une des roues hydrauliques de la manufacture d'armes de Châtellerault.

Les usines de la manufacture d'armes de Châtellerault sont mues par les eaux de la Vienne.

Cette rivière est sujette à des crues considérables, dont on a voulu éviter les inconvéniens principaux, en s'imposant comme condition de rigueur, que le sol des usines fût établi au-dessus du niveau des plus hautes eaux. De plus, afin que dans les faibles crues les roues ne fussent pas noyées en aval et pussent encore marcher, on n'a pas profité de toute la chute disponible, et on a limité celle qu'on voulait utiliser ordinairement, à 1^{m},65 au plus (*a*). Ces considérations de localité ont influé sur l'espèce et sur les dimensions des roues que l'on a adoptées. En effet, le sol des usines s'est trouvé par là établi à 2^{m},95 environ au-dessus du fond du coursier ou du point inférieur des roues, et comme l'axe de ces roues devait être au-dessus du sol à une certaine hauteur, que l'on a fixée à 0^{m},30 pour les martinets, le rayon des roues a été donné et s'est trouvé égal à 3^{m},25; enfin, pour diminuer les frais des modèles, on a adopté pour les roues de toutes les usines une même construction et l'on n'a fait varier que leur largeur parallèle à l'axe.

(*a*) Nous ne parlons ici que des usines destinées à l'arme blanche, qui étaient les seules construites en 1828, et dans lesquelles on n'a même compté que sur une chute moyenne de 1^{m},41 ; mais à l'époque où nos expériences ont été faites, il y avait à peu près 1^{m},65 de chute, comme on peut le voir au tableau ci-après (p. 494.)

Toutes les roues de la manufacture ont donc même diamètre de 6m,50; la largeur parallèle à l'axe des roues des martinets, est de 2m.35; la roue de la machine soufflante a 2m,43, et celle des aiguiseries 6m,25. Elles sont du genre des roues dites *de côté*, et reçoivent l'eau par une vanne inclinée de 40° sur la verticale, qui, en s'abaissant, laisse entre elle et une fausse vanne immobile, un orifice sur le sommet duquel il y a ordinairement une petite charge d'eau.

Afin de rejeter la charge de l'eau, le plus loin possible de l'axe de la roue, ce qui diminue l'effet des frottemens sur les tourillons, on avait adopté, pour les premières roues construites, la forme des augets indiquée fig. 2, pl. VII; mais on s'aperçut bientôt qu'ils ne pouvaient pas admettre assez d'eau, et l'on donna dans les constructions suivantes la forme représentée fig. 1re. A cette légère différence près, il y a identité dans le profil de toutes ces roues et les expériences faites sur l'une pourront être appliquées aux autres, toutes les fois que les augets seront assez grands pour admettre l'eau que l'orifice peut laisser écouler.

Nous ne discuterons pas les bases qui ont été adoptées lors de l'établissement de ces roues, et nous passerons de suite au détail des expériences que nous avons exécutées sur la roue du martinet placé en aval et à gauche, dans l'usine des forges

L'orifice d'écoulement de l'eau est ouvert,

comme nous l'avons dit, dans une paroi inclinée à 40°. environ. La vanne mobile porte en-dessus un renflement, auquel on a donné à peu près la forme de la veine fluide, sur une largeur de 0m,35 environ, ce qui détruit sur ce côté de l'orifice l'effet de la contraction; les deux parois verticales du canal sont dans le prolongement des côtés de cet orifice; nous sommes donc ici dans les mêmes circonstances que pour la roue de la fonderie de Toulouse. Il n'y a de contraction que sur le sommet de l'orifice, et la fausse vanne est inclinée à 40°.; nous prendrons donc pour coefficient de la contraction 0,75, d'après les expériences de M. Poncelet que nous avons déjà citées. La longueur libre de l'orifice n'est que de 2m,28, parce que les deux crémaillères qui élèvent la vanne en interceptent une partie.

L'arbre en fonte, qui porte le cercle à cames, avait été tourné avec soin pour recevoir un volant; c'est à cet endroit que nous avons placé notre frein. La distance du crochet de suspension des poids, au plan vertical passant par l'axe de l'arbre, était de 3m,60; c'est le bras de levier du frein. Son poids, rapporté à cette distance, était de 71 kilogrammes; le plateau de balance qu'on y accrochait pesait 29k,50. Dans quelques expériences, les poids étaient suspendus au crochet du frein, et la charge constante n'était alors que de 71 kilogrammes; dans les autres, ils

étaient posés dans le plateau de balance, et la charge constante était de 100k,50.

La profondeur des augets, dans le sens du rayon, est de $0^m,33$; le diamètre extérieur de la roue est de $6^m,50$; celui de la circonférence moyenne des aubes est donc de $6^m,17$; c'est d'après ce diamètre, et le nombre de tours de la roue, observé avec une montre à secondes mortes, que nous avons calculé les vitesses à la circonférence moyenne des aubes. Chaque aube commence à recevoir de l'eau, depuis l'instant où elle atteint le côté supérieur de l'orifice, jusqu'à celui où l'aube suivante est arrivée à hauteur du côté inférieur de cet orifice. Pour avoir une valeur approximative et facile à calculer de la vitesse moyenne avec laquelle l'eau afflue sur les aubes, nous avons pris celle qui est due à la charge sur le côté inférieur de l'orifice. C'est ce que nous avons désigné sous le nom de *vitesse d'affluence*.

La roue à dents en bois, montée sur un axe accouplé et parallèle à celui de la roue hydraulique, porte 128 dents; le pignon de l'arbre à cames en a 33; celui-ci fait donc $\frac{128}{33} = 3,878$ tours, pour un tour de la roue hydraulique. On a trouvé, d'après cela, que le crochet du frein tendait à prendre une vitesse égale à celle de la circonférence moyenne des aubes, multipliée par

4,526. Le produit de cette vitesse, par la charge totale du frein, nous a donné ce que nous avons désigné sous le nom d'effet utile, donné par le frein, ou quantité de travail disponible. Mais comme l'effet réellement transmis à la circonférence de la roue hydraulique se compose de ce travail disponible et de celui qui est consommé par les frottemens, nous avons pris pour les calculer la marche suivante.

Soit,

F la charge totale du frein;

L son bras de levier;

P'' l'effort transmis par la roue dentée à la circonférence primitive du pignon de l'arbre à cames;

r'' le rayon de ce cercle primitif;

p le poids de l'arbre à cames, du pignon et du cercle à cames.

Le frottement sur les tourillons de l'arbre à cames sera dû, comme il est facile de le voir, à la pression,

$$p + F - P'' \qquad (a);$$

et si nous faisons $f_{,} = \frac{f}{\sqrt{1 + f^2}}$, f étant le rapport du frottement à la pression pour un axe

(a) Même observation relativement à la charge F que dans la note, pag. 399.

de fonte sur un coussinet de cuivre, nous aurons pour le frottement sur les tourillons de l'arbre à cames,

$$f_{\prime}(p+F-P'').$$

ρ'' étant le rayon de ces tourillons, il est facile de voir que nous devrons avoir autour de leur axe l'équation d'équilibre suivante, dès que la machine sera parvenue à l'uniformité.

$$P''r'' = FL + f_{\prime}\rho''(p+F-P''),\ \text{d'où}$$
$$P'' = \frac{F(L+f_{\prime}\rho'')+f_{\prime}\rho'' p}{r''+f_{\prime}\rho''}.$$

Nous avons les données numériques :

$L = 3^{m}.60$; $f_{\prime} = 0.12$; $\rho'' = 0^{m}101$; $r'' = 0^{m}.488$.

$$p = \left\{\begin{array}{lr} \text{Poids du cercle à cames.} & 2264 \\ \text{— du pignon. . . . .} & 539 \\ \text{— de l'arbre. . . . .} & 2724 \end{array}\right\} = 5527^{k}.$$

En les substituant, on trouve

$$P'' = 7.224\ F + 132^{k}.648.$$

Cet effort P'', considéré comme résistance, produit entre les dents du pignon et celles de la roue un frottement dont l'effort moyen a pour expression

$$fP''\pi\frac{m+m'}{mm'},\quad \text{(Cahier lithographié.)}$$

dans laquelle

$f = 0{,}07$ est le rapport de la pression au frottement pour des dents en fonte et des dents en bois avec enduit;

$\pi = 3{,}14$;

$m = 128$, nombre de dents de la roue;

$m' = 33$, nombre de dents du pignon;

de sorte que l'effort qui doit être transmis à la circonférence primitive de la roue à dents en bois, pour vaincre ce frottement et la résistance P'', sera

$$P''\left(1 + f\pi\,\frac{m+m'}{mm'}\right) = P'' \times 1{,}0084.$$

Appelons-le P', pour la simplicité des calculs, et considérons ce qui se passe autour de l'axe de la grande roue dentée et de la roue hydraulique.

Les arbres de ces deux roues sont accouplés par un manchon fort juste, qui les unit de manière qu'ils n'en font qu'un; et, comme la machine avait déjà tourné souvent, nous admettrons que l'action transmise par le manchon diminue la pression sur le tourillon d'un de ces arbres, précisément de la même quantité qu'elle l'augmente sur l'autre, et par conséquent ne contribue en rien au frottement qui se produit à leur surface.

D'après cela, le frottement sur les tourillons de la roue dentée aura pour expression,

$$f_{,}\ (P' + q),$$

en faisant toujours $f_{,} = \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$, et en appelant q le poids de l'arbre et de la roue dentée.

Si nous désignons le rayon par ρ', le mouvement de ce frottement, par rapport à l'axe, sera

$$f_{,}\ (P' + q)\ \rho'.$$

Pour la roue hydraulique la pression sur ses tourillons sera la résultante de son poids M, et des composantes verticale et horizontale de l'effort P, transmis par le moteur à la circonférence moyenne de ses aubes. Nous négligeons l'action exercée sur les tourillons par le poids de l'eau contenue dans la roue, parce que la pression qu'il produirait ne serait qu'une fraction du poids total de l'eau contenue sur la roue, et que d'ailleurs elle entre dans P. Nous prendrons pour direction de cet effort, celle de la tangente au milieu de l'arc de cette circonférence, qui est chargé d'eau.

Soit α l'angle que cette direction fait avec la verticale, il est facile de voir que la pression sur les tourillons de la roue aura pour valeur,

$$\sqrt{(M + P \cos. \alpha)^2 + (P \sin. \alpha)^2},$$

dans laquelle le premier terme étant évidemment plus grand que le second, on peut prendre pour sa valeur approchée à $\frac{1}{25}$,

$$0.96\ (M + P \cos. \alpha) + 0.4\ P \sin. \alpha.$$

Le frottement dû à cette pression sera

$$0.96 f_{\prime}\ (M + P \cos. \alpha) + 0.4 f_{\prime}\ P \sin. \alpha.$$

L'effort P transmis à la circonférence moyenne des aubes devant faire équilibre, dès que le mouvement est parvenu à l'uniformité, d'une part à la résistance P', et de l'autre aux résistances passives que nous venons de déterminer, nous devons avoir autour de l'axe de la roue hydraulique l'équation d'équilibre,

$$PR = P'r' + f_{\prime}(P' + q)\rho' + 0.96 f_{\prime}\rho\,(M + P \cos. \alpha) + 0.4 f_{\prime}\rho\ P \sin. \alpha,$$

dans laquelle

R est le rayon de la circonférence moyenne des aubes.

r' le rayon du cercle primitif de la roue dentée.

q son poids et celui de son arbre.

ρ' le rayon de ses tourillons.

ρ le rayon des tourillons de la roue.

M le poids de la roue et de son arbre.

On en tire,

$$P = \frac{P'(r' + f_{\prime}\rho') + f_{\prime}\rho' q + 0.96 f_{\prime}\rho M}{R - f_{\prime}\rho\,(0.96 \cos. \alpha + 0.4 \sin. \alpha}\,,$$

En y introduisant les données numériques,

$$r' = 1^{m}.893\,;\ f_{,} = 0.12\,;\ \rho' = 0^{m}.094\,;\ \rho = 0^{m}.14.$$

$$q = \left\{\begin{array}{lr}\text{Poids de la roue dentée.}\ \dots & 2581 \\ \text{— de son arbre.}\ \dots\dots & 640\end{array}\right\}\ 3221^{k}$$

$$M = \left\{\begin{array}{lr}\text{Poids de l'arbre de la roue} & \\ \quad\text{hydraulique.}\ \dots\dots & 7164^{k}.50 \\ \text{— de 30 courbes en fonte.} & 4636\ .50 \\ \text{— de 30 rayons en fonte..} & 2738 \\ \text{— de 3 plateaux d'assem-} & \\ \quad\text{blage.}\ \dots\dots\dots & 2131 \\ \text{— des aubes, du fond, des} & \\ \quad\text{coyaux.}\ \dots\dots\dots & 4137 \\ \text{— des menues ferrures.}\ \dots & 2001.\end{array}\right\}\ 21017^{k}$$

$R = 3^{m}.085$,

$\alpha = 65°$, d'où $\cos.\alpha = 0.4226$, $\sin.\ \alpha = 0.9063$;

L'expression ci-dessus se réduit à

$$P = 0.619\ P' + 126^{k}.428\,;$$

mais nous avons déjà

$$P' = P'' \times 1.0084 = 1{,}0084(7.224\,F + 132\ .648);$$

en substituant et réduisant, on trouve en définitive

$$P = 4.508\ F + 209^{k}.225.$$

En multipliant la valeur de l'effort P, déduite de cette équation au moyen de celles de F, par la vitesse respective de la circonférence moyenne des aubes, nous avons obtenu l'effet utile total ou

la quantité d'action réellement transmise par le moteur à la roue hydraulique.

La différence entre cet effet utile total et la quantité de travail disponible donnée par le frein est la quantité d'action ou de travail consommée par les frottemens.

Nous avons calculé l'effet théorique de la roue au moyen de la formule donnée par M. Poncelet, dans le cours de 1828 :

$$Pv = mgh + m\,(V - v)\,v^{\text{k. m.}}$$

que nous avons déjà employée pour la roue de Toulouse (voy. p. 471), et dont nous avons expliqué alors la notation. En appelant Q le volume d'eau dépensé en 1″, exprimé en mètres cubes, elle revient, comme on l'a vu, à

$$Pv = 1000\,Qh + \frac{1000\,Q}{g}\,(V - v)\,v^{\text{k. m.}}$$

L'introduction des données numériques relatives à chacune de nos expériences nous a donné l'effet utile théorique correspondant.

Il a été facile ensuite de calculer le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique, et celui de l'effet donné par le frein, ou du travail disponible, à la quantité d'action fournie par le moteur.

Les anomalies observées dans les valeurs de ces rapports, nous ont conduit à chercher quelle était dans chaque expérience la quantité d'eau à

admettre dans chaque auget. Leur écartement à la circonférence moyenne est de $0^m,39$ à peu près, il a donc été facile d'en déduire le nombre d'augets qui passent devant l'orifice en une seconde, et par suite, le volume d'eau à admettre dans chacun d'eux.

La surface du profil d'un auget est de.	$0^{m.c.},111$
Sa longueur parallèle à l'axe. . .	$2^m,35$
Sa capacité est donc de.	$0^m,261$

On voit facilement, par l'examen de la dernière colonne du tableau, la cause des anomalies observées dans les expériences. Elles viennent de ce que les augets sont trop petits dans la plupart des cas, pour contenir l'eau que l'orifice dépenserait.

Le tableau suivant offre toutes les données et les résultats de nos expériences.

Expériences faites en octobre 1828 sur

Numéros des expériences.	Hauteur de l'orifice sur une longueur de 2m.28.	Aire de l'orifice.	Charge d'eau sur le centre de l'orifice.	Volume d'eau dépensée en 1″.	Chute totale.	Quantité d'action ou de travail fourni par le moteur en 1″.	Vitesse de la circonférence moyenne des aubes en 1″.	Vitesse d'affluence de l'eau sur les aubes.	Rapport de la vitesse de la circonférence moyenne des aubes à la vitesse d'affluence de l'eau.	Vitesse que le crochet du frein tendait à prendre.
	m.	m. c.	m.	m. cub.	m.	k. m.	m.	m.		m.
1	0.10	0.228	0.340	0.441	1.67	736	0.97	2.77	0.35	4.38
2	0.15	0.342	0.425	0.740	1.68	1243	1.19	3.13	0.38	5.39
3			0.351	0.672	1.65	1112	1.43	2.90	0.49	6.49
4	0.20	0.456	0.270	0.786	1.50	1180	1.21	2.70	0.45	5.48
5			0.425	0.986	1.65	1633	1.36	3.21	0.42	6.15
6			0.375	0.927	1.65	1534	1.94	3.05	0.63	8.77
7	0.25	0.570	0.455	1.278	1.66	2120	1.04	3.30	0.31	4.72
8			0.215	0.880	1.42	1251	1.08	3.38	0.31	4.87
9			0.455	1.278	1.66	2120	1.33	3.38	0.39	6.00
10			0.255	0.957	1.46	1398	1.49	2.73	0.54	6.73
11			0.395	1.189	1.65	1962	2.17	3.20	0.68	9.74
12			0.395	1.189	1.65	1962	2.31	3.20	0.72	10.44
13	0.30	0.684	0.245	1.123	1.43	1601	0.98	2.70	0.36	4.44
14			0.480	1.575	1.66	2614	1.42	3.21	0.40	6.43
15			0.285	1.211	1.46	1774	1.59	2.92	0.54	7.19
16			0.470	1.559	1.65	2573	1.97	3.49	0.56	8.91
17	0.37	0.844	0.275	1.468	1.42	2085	» »	» »	» »	» »
18			0.515	2.012	1.66	3340	1.27	3.71	0.34	5.84
19			0.275	1.468	1.42	2085	1.38	3.01	0.45	6.26
20			0.515	2.012	1.66	3340	1.49	3.71	0.40	6.74
21			0.515	2.012	1.66	3340	1.55	3.71	0.41	7.01
22			0.275	1.468	1.42	2085	1.71	3.01	0.56	7.73
23			0.505	1.990	1.65	3283	1.78	3.68	0.48	8.06
24			0.500	1.982	1.64	3276	2.58	3.07	0.70	11.68

une des roues de martinet à Châtellerault.

CHARGE DU FREIN.			Effet utile mesuré par le frein, ou quantité de travail disponible.	Effet utile total, ou quantité de travail transmise à la circonférence moyenne des aubes.	Quantité de travail dépensée par les frottemens.	Effet théorique.	Rapport de l'effet utile total à l'effet théorique.	Rapport de la quantité de travail disponible à la quantité de travail fournie par le moteur en 1''.	Volume d'eau à introduire dans chaque auget.
Constante.	Variable.	Total.							
k.	k.	k.	k. m.	k. m.	k.m.	k.m.			m. cub.
71.0	»	71.0	312	513	201	621	0.83	0.42	0.178
100.5	25	125.5	676	922	246	1047	0.88	0.54	0.242
71.0	13	84.0	545	841	296	937	0.89	0.49	0.171
100.5	»	100.5	550	801	251	1032	0.78	0.47	0.253
100.5	25	125.5	772	1054	282	1367	0.78	0.47	0.283
71.0	13	84.0	737	1140	403	1251	0.91	0.48	0.186
100.5	33	133.5	630	843	213	1697	0.50	0.29	0.480
100.5	25	125.5	611	837	226	1106	0.76	0.49	0.317
100.5	25	125.5	753	1031	278	1735	0.59	0.35	0.372
100.5	»	100.5	676	937	311	1213	0.81	0.48	0.250
71.0	13	84.0	818	1276	458	1555	0.83	0.42	0.213
71.0	»	71.0	741	1223	481	1533	0.80	0.38	0.200
100.5	25	125.5	557	759	202	1349	0.56	0.35	0.448
100.5	25	125.5	807	1100	293	2115	0.52	0.35	0.431
100.5	»	100.5	722	1053	331	1507	0.70	0.41	0.297
100.5	13	113.5	1012	1420	408	2081	0.68	0.39	0.308
100.5	50	150.5	»	»	»	»	» »	» »	» »
100.5	25	125.5	734	984	250	2566	0.38	0.21	0.619
100.5	25	125.5	786	1069	283	1750	0.61	0.38	0.415
100.5	13	113.5	765	1074	309	2608	0.41	0.23	0.526
100.5	5	105.5	740	1061	321	2618	0.40	0.22	0.506
100.5	»	100.5	777	1132	355	1735	0.65	0.37	0.335
100.5	»	100.5	810	1179	369	2596	0.45	0.24	0.436
71.0	»	71.0	829	1365	536	2471	0.55	0.25	0.300

L'inspection du tableau précédent fait voir de suite que la capacité des augets est trop petite pour admettre, même à de grandes vitesses, le volume d'eau que l'orifice pourrait dépenser dans les grandes levées de la vanne; il suit de là que ces roues ne pourraient pas profiter de toute la force du cours d'eau sur lequel elles sont placées, et il serait possible qu'elles ne fussent pas assez puissantes dans certains cas, pour faire mouvoir les machines qu'elles doivent conduire. Si l'on éprouvait ces inconvéniens, il suffirait d'augmenter la capacité de leurs augets, ce qui ne présenterait aucune difficulté.

Celles de nos expériences dans lesquelles le volume d'eau à introduire dans les augets dépasse leur capacité, ne sont bonnes qu'à éclairer sur l'effet utile que l'on peut retirer de ces roues dans ce cas particulier, et par suite sur la quantité d'action épuisée par les travaux exécutés. Afin de pouvoir apprécier l'effet que l'on peut retirer des roues de côté, quand leurs parties sont dans des rapports convenables, nous avons réuni dans le tableau suivant les expériences dans lesquelles la roue pouvait admettre l'eau écoulée par l'orifice, et nous les avons classées d'après la valeur du rapport de la vitesse de la circonférence moyenne des aubes à celle de l'eau affluente, afin de voir comment la variation de ce rapport influe sur celui de l'effet utile total à l'effet théorique.

Résultats des expériences où la roue admettait toute l'eau que l'orifice pouvait fournir.

Nos. des expériences.	Quantité d'action fournie par le moteur en 1''.	Vitesse de la circonférence moyenne des aubes en 1''.	Rapport de la vitesse de la circonférence moyenne des aubes à celle de l'eau affluente.	Quantité de travail mesurée par le frein.	Quantité de travail dépensée par les frottemens.	Effet utile total, ou quantité de travail transmise à la roue.	Effet utile théorique.	Rapport de l'effet utile total à l'effet théorique.	Rapport de l'effet utile total à la quantité d'action fournie par le moteur.	Rapport de la quantité de travail mesurée par le frein à celle qui est fournie par le moteur.
	k. m.	m.		k. m.	k. m.	k. m.	k. m.			
1	736	0.95	0.35	312	201	513	621	0.83	0.66	0.42
2	1243	1.19	0.38	681	246	922	1047	0.88	0.74	0.55
3	1112	1.4[illegible]	0.49	545	296	841	937	0.89	0.76	0.49
6	1534	1.94	0.63	737	403	1140	1251	0.91	0.74	0.48
11	1962	2.17	0.68	818	458	1176	1555	0.83	0.65	0.42
12	1962	2.31	0.72	741	481	1223	1533	0.80	0.62	0.38

Nous voyons par ce tableau que le rapport de l'effet utile total transmis à la circonférence moyenne des aubes à l'effet théorique, varie dans des limites assez resserrées, qu'il paraît être à son *maximum* lorsque la vitesse de la roue est environ 0,60 de celle de l'eau affluente; qu'au-dessus et au-dessous de ce rapport des vitesses, celui de l'effet total à l'effet théorique diminue à mesure qu'on s'éloigne de la valeur qui donne le *maxi-*

mum. La variation est cependant assez faible, quoique le rapport des vitesses varie du simple au double. Ainsi, lorsque la vitesse de la roue est 0,60 de celle de l'eau affluente, le rapport de l'effet total à l'effet théorique dans les roues de côté, serait 0,90. Nous verrons qu'on arrive au même rapport pour les roues à augets.

Il faut observer que dans l'effet utile total se trouve comprise la quantité de travail consommée par les frottemens, quantité qui s'élève moyennement au tiers de l'effet total transmis à la circonférence de la roue; cette consommation excessive de travail, occasioné par les frottemens, provient du poids énorme des roues, et des dimensions trop grandes de leurs tourillons. La roue de martinet sur laquelle nous avons fait nos expériences, pèse en effet à peu près autant que la grande roue hydraulique de Guebeviller, et ne réalise au plus qu'une force de 10 à 11 chevaux-vapeur en quantité de travail disponible, tandis que celle-ci en transmet une de près de 50 chevaux.

La quantité d'action dépensée par les frottemens, croissant proportionnellement à la vitesse, il s'ensuit que le rapport *maximum* de la quantité de travail disponible, à celle qui est fournie par le moteur, ne correspond pas au même rapport des vitesses, que le *maximum* de celui de l'effet total à l'effet théorique; il paraît atteindre

sa plus grande valeur lorsque la vitesse de la roue est environ 0,40 de celle de l'eau affluente.

Enfin le rapport de l'effet utile total à la quantité d'action fournie par le moteur, paraît atteindre son *maximum* 0,76, lorsque la vitesse de la roue est moitié de celle de l'eau affluente.

Quant aux expériences où la capacité des augets n'était pas assez grande pour admettre toute l'eau que l'orifice aurait pu fournir, d'après son ouverture et la charge sur son centre, il devient nécessaire de calculer la quantité de travail dépensée par le moteur, d'après des données particulières; la roue n'admet en effet, dans ce cas, qu'un volume d'eau égal à celui que ses augets présentent devant l'orifice en y passant. Ce volume s'obtient en multipliant la capacité de chaque auget par le nombre de ceux qui passent devant la vanne dans une seconde, nombre qui se déduit facilement de la vitesse à la circonférence moyenne des aubes, puisqu'on sait que l'écartement des aubes, sur cette circonférence, est de $0^m,39$. Nous observerons, d'ailleurs, que, dans ce cas, la formule théorique n'est plus applicable, puisqu'on ne peut plus déterminer la vitesse d'affluence de l'eau; nous nous contenterons donc d'indiquer le rapport de l'effet utile total, et celui de l'effet mesuré par le frein à la quantité d'action fournie par le moteur;

Résultats des expériences où la roue n'admettait pas toute l'eau que l'orifice pouvait fournir.

N°. des expériences.	Volume d'eau introduit dans les augets en 1''.	Chute totale.	Quantité d'action ou de travail fournie par le moteur en 1''.	Vitesse à la circonférence moyenne des aubes par seconde.	Effet utile mesuré par le frein, ou travail disponible.	Quantité de travail consommée par les frottemens.	Effet utile total, ou quantité de travail transmise à la roue.	Rapport de l'effet utile total à la quantité de travail fournie par le moteur.	Rapport de la quantité de travail mesurée par le frein, à celle qui est fournie par le moteur.
	m. c.	m.	k. m.	m.	k. m.	k. m.	k. m.		
7	0.696	1.66	1155	1.04	630	213	843	0.73	0.54
18	0.850	1.66	1411	1.27	734	250	984	0.70	0.52
9	0.890	1.66	1477	1.33	753	278	1031	0.70	0.50
5	0.910	1.65	1501	1.36	772	282	1054	0.70	0.51
14	0.950	1.66	1577	1.42	807	293	1103	0.70	0.50
20	0.997	1.66	1655	1.49	765	309	1074	0.64	0.46
21	1.037	1.66	1721	1.55	740	321	1061	0.61	0.43
23	1.191	1.65	1965	1.78	810	369	1179	0.6[illegible]	0.41
16	1.318	1.65	2175	1.97	1012	408	1420	0.65	0.46
24	1.726	1.64	2830	2.58	829	536	1356	0.48	0.29
13	0.660	1.43	944	0.98	557	202	759	0.80	0.59
8	0.723	1.41	10[illegible]6	1.08	611	226	837	0.81	0.59
4	0.786	1.50	1180	1.21	550	250	801	0.67	0.47
10	0.997	1.46	1455	1.49	676	311	937	0.64	0.46
15	1.064	1.46	1553	1.59	722	331	1053	0.67	0.46
22	1.144	1.42	1624	1.71	777	355	1132	0.70	0.47

Nous avons réuni dans ce tableau les expériences où la chute totale était à peu près la même ; et si nous comparons entre elles celles où les charges d'eau et les vitesses étaient à peu près

les mêmes que dans le tableau précédent, le rapport de l'effet utile total à la quantité de travail dépensée par le moteur sera à peu près le même, quoique généralement un peu plus faible que dans le cas où toute l'eau trouverait place dans la roue; et l'on voit qu'il atteint aussi son *maximum* vers les vitesses de $1^m,30$ à $1^m,40$ de la circonférence moyenne des aubes, lorsque la chute est de $1^m,66$; au delà de ces vitesses, ce rapport semble tendre à diminuer. Ainsi, dans le cas où l'eau que l'orifice laisserait naturellement écouler ne peut être admise dans la roue, le dernier tableau fournira encore le moyen de calculer l'effet utile total transmis par le moteur à la circonférence moyenne des aubes.

Expériences sur la machine à vapeur de la fonderie de Douai.

Le moteur de la fonderie de Douai est une machine à moyenne pression, avec détente et condensation du système de Wolf, modifié par Edwards, dont en France elle a pris le nom. Elle a été vendue pour la force nominative de 12 chevaux-vapeur, disponible hors de la chambre de la machine, avec une consommation moyenne de 3 kil. de houille par force de cheval et par heure. Les expériences dont nous allons rendre compte ont eu pour but principal de

trouver quelle était la quantité d'action ou de travail que pouvait transmettre à l'atelier de la forerie la roue d'engrenage, qui est à l'extérieur de la chambre de la machine, pour différentes pressions de la vapeur dans la chaudière, et quelle est la consommation de combustible.

Pour comparer l'effet utile réel de cette machine à l'effet théorique, nous avons employé la formule donnée par M. Poncelet, dans ses leçons de 1826 à l'école d'application, pour les machines à détente avec condensation, en y introduisant les modifications particulières à la machine dont nous nous occupions. Si l'on considère un cylindre dans lequel on introduit de la vapeur pendant une partie de la course de son piston, en la laissant ensuite se détendre pendant le reste de cette course, et qu'on appelle :

s la surface du piston en centimètres carrés ;

l la longueur de la partie de la course pendant laquelle la vapeur arrive sur le piston, exprimée en mètres ;

p la tension de la production de la vapeur dans la chaudière ;

$p_{,}$ la tension de la vapeur à l'instant où le piston a fourni toute sa course, ou qu'on cesse la détente ;

p', la tension de la vapeur dans le condenseur ; p, $p_{,}$ et p', étant des pressions en

kilogrammes sur un centimètre carré de surface,

la formule donnée par M. Poncelet, pour exprimer la quantité d'action développée par la vapeur pendant une course du piston, est

$$sl \left\{ 1 + \log. \left(\frac{p}{p_1}\right) - \frac{p'}{p_1} \right\}^{\text{k. m.}}.$$

Dans cette expression, log. $\frac{p}{p'}$ est un logarithme népérien, que l'on obtiendra en multipliant le logarithme tabulaire par 2.3026, ce qui ramène l'expression précédente à celle-ci :

$$sl \left(1 + 2.3026 \log. \frac{p}{p_1} - \frac{p'}{p_1} \right)^{\text{k. m.}},$$

dans laquelle log. $\frac{p}{p_1}$ est un logarithme tabulaire.

Cette formule s'applique à tous les systèmes de machines à vapeur, avec ou sans détente, à un ou à plusieurs cylindres, en y introduisant les données particulières à la construction de chacune d'elles. Il est évident d'ailleurs que, quel que soit le mode d'opérer la détente dans un ou dans deux cylindres, la quantité d'action que peut développer un même volume de vapeur, en passant d'une pression déterminée à une autre pression donnée, doit être toujours la même, et que par conséquent cette formule convient à toutes les machines. Mais comme les leçons dans

lesquelles elle a été démontrée ne sont pas imprimées, et qu'il est indispensable pour l'intelligence de ce qui va suivre de connaître la marche du raisonnement, nous appliquerons à la machine à deux cylindres en particulier la théorie générale de M. Poncelet; ce qui n'offre aucune difficulté.

Soient s et s', les surfaces du petit et du grand piston exprimées en centimètres carrés, l et l' leurs courses respectives exprimées en mètres. Dans beaucoup de machines, les deux cylindres sont disposés parallèlement à l'axe des tourillons du balancier, et leurs pistons ont la même course, de sorte que $l = l'$; nous raisonnerons dans cette hypothèse, et nous ferons voir plus loin que le résultat est le même dans l'autre.

p, $p_{,}$, et p' ayant les mêmes significations que ci-dessus, considérons les pistons dans leur descente et lorsqu'ils sont parvenus à une distance x de leur position supérieure.

A cet instant, le petit piston est soumis supérieurement à la tension p de la production, que nous regardons comme constante, et inférieurement à la tension du grand cylindre, qui est variable et représentée par $p_{,}$. S'il parcourt dans l'élément du temps une longueur dx, la quantité d'action développée sur les surfaces supérieure et inférieure par la vapeur, sera

$$s(p - p_{,})\,dx.$$

Pendant le même temps, il se développe sur le grand piston une quantité d'action ou de travail égale à

$$s_{,}(p_{,}-p')\,dx\ ;$$

de sorte que le travail élémentaire total développé dans un instant infiniment petit, est

$$\{s\,(p-p_{,})+s_{,}(p_{,}-p')\}\ dx^{\text{k. m.}}.$$

Au commencement de la descente, le volume de la vapeur à la tension p de la production, qui se trouvait sous le petit piston et provenait de la montée précédente, était en mètres cubes,

$$\frac{sl}{(100)^2}.$$

Ce volume se dilate à mesure qu'il passe de la vapeur dans le grand cylindre, et quand le petit piston est distendu de x, le petit cylindre contient

$$\frac{s}{(100)^2}\,(l-x)\ \text{mètres cubes},$$

et le grand cylindre,

$$\frac{s_{,}x}{(100)^2}\ \text{mètres cubes de vapeur},$$

dont la tension a diminué en raison inverse de l'accroissement de son volume, de sorte qu'on a entre les tensions p et $p_{,}$ et les volumes respectifs, la relation

$$\frac{1}{(100)^2}\{sl+(s_{,}-s)x\}\,p_{,}=\frac{1}{(100)^2}\,slp,$$ ou

$$p_{,}\,(s_{,}-s)\,x=sl\,(p-p_{,}),$$

d'où l'on tire

$$x=\frac{sl}{s_{,}-s}\left(\frac{p}{p_{,}}-1\right),$$

et en différentiant :

$$dx=-\frac{slp}{s_{,}-s}\,\frac{dp_{,}}{p_{,}^{2}}.$$

En substituant cette valeur de dx dans l'expression du travail élémentaire développé par la vapeur dans l'instant dt, elle se réduit à

$$-(sp-s_{,}p')\,\frac{slp}{s_{,}-s}\,\frac{dp_{,}}{p_{,}^{2}}-slp\,\frac{dp_{,}}{p_{,}}.^{\text{k. m.}}$$

En intégrant, on a pour la valeur générale de la quantité d'action ou de travail développée par la production et la détente de la vapeur,

$$(sp-s_{,}p')\,\frac{slp}{s_{,}-s}\,\frac{1}{p_{,}}-slp\log\,p'+C.$$

Cette intégrale doit être prise depuis $p_{,}=p$ jusqu'à la valeur de $p_{,}$ qui correspond à la plus grande détente. Or, à la fin de la course on a

$$spl=s_{,}p_{,}l,\ \text{ou}\ sp=s_{,}p_{,},\ \text{d'où}\ p_{,}=\frac{sp}{s_{,}},$$

et l'intégrale prise entre les limites ci-dessus, devient

$$(sp - s_{,}p_{,})\frac{slp}{s_{,} - s}\left(\frac{1}{p_{,}} - \frac{1}{p}\right) + slp \log.\frac{p}{p_{,}},$$

ou enfin

$$slp\left(1 + \log.\frac{p}{p_{,}} - \frac{p'}{p_{,}}\right)^{\text{k. m.}},$$

expression qui est indentiquement la même que celle due à M. Poncelet.

Il est d'ailleurs clair que si la course du piston n'était pas la même, on aurait toujours à la fin de l'oscillation

$$spl = s'p_{,}l', \text{ d'où } \frac{sl}{s_{,}l'} = \frac{p_{,}}{p},$$

$$\text{et } p_{,} = \frac{sl}{s_{,}l'}p,$$

ce qui conduirait encore au même résultat.

Cette formule suppose trois choses :

1°. Que la vapeur, en se détendant, ne se refroidit pas, et qu'il n'y a pas de condensation;

2°. Que la vapeur introduite dans le petit cylindre a une tension constante et égale à celle de la production dans la chaudière;

3°. Que cette vapeur est admise pendant toute la durée de la course du petit piston dans son cylindre.

On admet généralement que la chemise qui enveloppe les cylindres, et dans laquelle circule la vapeur avant d'arriver au piston, suffit pour que la première condition soit considérée comme satisfaite.

Examinons la deuxième condition, abstraction faite de la troisième, et cherchons ce qui se passe dans un cylindre où la vapeur arrive par un orifice d'une ouverture constante.

Appelons p'' la tension de la vapeur dans le cylindre, à un instant quelconque où il y afflue sans cesse de nouvelle vapeur à la pression p de la production.

Dans sa théorie de l'écoulement des fluides donnés en 1826 à l'école d'application, M. Poncelet est arrivé à l'expression

$$V^2 = 2g\left(\frac{p-p''}{\pi}\right) - 2\,\frac{\varpi L}{\Omega}\,bU^2,$$

dans laquelle

p et p'' représentent des pressions sur un mètre carré de surface, exprimées en kilogrammes;

π la densité du fluide ou le poids du mètre cube;

ϖ le périmètre de la section du tuyau qui amène le fluide, ce qui revient à $\varpi = 3{,}1415\,D$, en appelant D le diamètre de ce tuyau;

Ω La surface de la section de ce tuyau, ou $\Omega = 0{,}7854\,D^2$;

b un coefficient numérique constant;

U la vitesse du fluide dans le tuyau de conduite;

L la longueur de ce tuyau;

a la surface de l'orifice;
m le coefficient de la contraction;
V la vitesse d'écoulement;

On a évidemment

$$ma \,.\, V = U \,.\, \Omega\text{, d'où } U = \frac{ma\,V}{\Omega};$$

de plus, le tuyau qui amène la vapeur étant un canal engendré par le cercle dont le diamètre est D,

$$\frac{\sigma}{\Omega} = \frac{4}{D}.$$

Au moyen de ces valeurs, la formule ci-dessus devient

$$V^2 = 2g\left(\frac{p - p''}{\pi}\right) - \frac{8\,Lbm^2a^2 \times 16}{(3.1415)^2\,D^5}\,V^2;$$

d'où l'on tire

$$V = \sqrt{\frac{2g \,.\, \frac{p - p''}{\pi}}{1 + 0.0771\,\frac{Lbm^2a^2}{D^5}}},$$

expression que l'on peut mettre sous la forme

$$V = A\,\sqrt{p - p''},$$

en faisant :

$$A = \sqrt{\frac{2g}{\pi\left(1 + 0.0771\,\frac{Lbm^2a^2}{D^5}\right)}}.$$

La dépense de fluide à la pression p, dans une seconde, sera donc représentée par

$$Ama \sqrt{p - p''},$$

et dans un instant infiniment petit dt, le volume de fluide écoulé sera

$$Ama \sqrt{p - p''} \cdot dt.$$

Si, à l'instant que nous considérons, le piston du cylindre est à une distance x de sa position supérieure, s étant sa surface en centimètres carrés, le volume occupé par la vapeur sera

$$\frac{s}{(100)^2}\, x \text{ en mètres cubes,}$$

et dans un instant infiniment petit ce volume s'accroîtra de

$$\frac{s}{(100)^2}\, dx.$$

La variation de x a lieu suivant une loi facile à déterminer; mais celle de p'' est plus compliquée. M. Poncelet a traité cette question d'une manière rigoureuse dans ses leçons de 1826, et il est parvenu à une équation qu'il a intégrée; mais les calculs étant assez longs, nous essaierons de les éviter, au moyen d'une supposition qui s'écarte assez peu de la vérité. Le temps de l'admission de la vapeur sur le piston peut se partager en trois périodes : pendant la première, les tiroirs ou robinets de distribution s'ouvrent progressivement d'après

le mode particulier à chaque machine; dans la seconde, ils restent stationnaires ou totalement ouverts; enfin, dans la troisième, ils se ferment progressivement. La seconde période correspond à la partie de la course du piston où son mouvement s'approche le plus d'être uniforme, et s'il l'était rigoureusement, l'orifice d'écoulement étant constant, la tension dans le petit cylindre tendrait aussi à devenir constante. Nous supposerons, pour arriver à des résultats simples et faciles à calculer, que les choses se passent ainsi dans la seconde période de l'arrivée de la vapeur sur le piston; et nous allons raisonner dans cette hypothèse pour cette période, ce qui, en d'autres termes, revient à admettre que le volume de vapeur affluente à la pression p pendant un instant, ou $A\,ma\sqrt{p-p'}\,dt$, prend une pression constante p', et se loge dans l'espace $\frac{s}{100^2}\,dx$, engendré par le piston. Quant aux deux autres périodes, nous verrons plus tard qu'à l'aide des résultats obtenus approximativement sur la seconde, on peut calculer le volume de vapeur introduit dans le petit cylindre, en tenant compte de la variation de vitesse du piston et de la tension dans le cylindre.

En appliquant l'hypothèse que nous venons d'énoncer, à la seconde période de l'arrivée de la

vapeur sur le petit piston, nous avons la proportion

$$p : p'' :: \frac{s}{(100)^2} dx : Ama \sqrt{p - p''} . dt,$$

d'où l'on tire

$$\frac{\sqrt{p - p''}}{p''} = \frac{s}{(100)^2 \; Ama} \; \frac{dx}{dt}.$$

L'expression ci-dessus revient, en intégrant, à

$$\int \frac{\sqrt{p - p''}}{p''} dt = \frac{s}{(100)^2 Amap} x + C.$$

Le premier membre n'est pas intégrable en général, puisque nous ne connaissons pas la loi qui lie p'' et t.

Dans le mouvement d'une machine à vapeur, le volant est destiné à corriger les variations de vitesse provenant de l'action alternative du piston et de celle de la manivelle. On lui donne en conséquence des dimensions telles que son mouvement de rotation soit, sinon uniforme, ce qui n'arriverait jamais, du moins suffisamment régulier, pour les travaux mécaniques à exécuter. Si donc nous nous contentons de l'approximation qui suffit ordinairement à l'industrie, et que nous considérions le mouvement du volant comme uniforme, celui du piston ne sera pas de même espèce, par suite de l'inégalité d'action de la manivelle; mais

nous observerons que, pour chaque demi-circonférence décrite par le volant ou la manivelle, il y a trois positions où l'espace x, parcouru par le piston, est le même que si le mouvement avait été uniforme; savoir : le point supérieur, le milieu de la course, et le point inférieur; et, comme d'ailleurs le temps de la descente est toujours très-court, nous voyons que l'intégrale

$$\int \frac{\sqrt{p-p''}}{p''}\, dt$$

s'écartera nécessairement assez peu de la valeur qu'elle aurait si le mouvement était uniforme. Nous nous permettrons donc de le regarder comme tel dans ce qui va suivre; mais nous bornerons cette hypothèse à la partie de sa course dans laquelle elle s'éloigne le moins de la vérité; et nous verrons plus tard que dans la machine de Douay, par suite de sa disposition, cette supposition ne s'applique qu'à l'intervalle de la marche des pistons, où la manivelle est à 13° 10′ au delà ou en deçà de la verticale, pour la descente du piston. Cette limitation de notre hypothèse paraîtra sans doute suffisante pour le degré d'exactitude dont se contente la pratique.

Si donc nous appelons t, le temps d'une oscillation, et l la longueur de la course, nous aurons,

puisque d'après notre supposition $\sqrt{\frac{p-p''}{p''}}$ devient constant,

$$\frac{\sqrt{p-p''}}{p''}\,t_{,}=\frac{sl}{(100)^2 Amap},$$

d'où nous tirons l'équation :

$$p''^2+\left(\frac{(100)^2 Amapt_{,}}{sl}\right)^2 p''-\left(\frac{(100)^2 Amapt_{,}}{sl}\right)^2 p=0,$$

ou en faisant

$$B=\left(\frac{(100)^2 Amapt_{,}}{sl}\right)^2,$$

$$p''^2+Bp''-Bp=0,\ \text{d'où}$$

$$p''=-\frac{B}{2}\pm\sqrt{\frac{B^2}{4}+Bp},$$

et comme p'' doit être nécessairement positif, il faudra prendre le signe + pour le radical, ce qui donne

$$p''=-\frac{B}{2}+\sqrt{\frac{B^2}{4}+Bp}.$$

Cette valeur fort simple n'est applicable, ainsi que nous venons de le dire, qu'à la partie intermédiaire de la course du piston, où son mouvement peut être regardé comme uniforme; cette supposition n'étant plus permise pour le commencement et la fin de sa course, il ne sera pas inutile de rechercher dès à présent l'équation dif-

férentielle, à laquelle on serait parvenu, en regardant p'' comme variant avec t et x.

Lorsque le piston est à la distance x de sa position supérieure, le cylindre contient un volume de vapeur $\frac{sx}{(100)^2}$ à la pression p'', ce qui revient à un volume

$$\frac{sx}{(100)^2}\ \frac{p''}{p} \text{ de vapeur à la pression } p.$$

Dans l'instant dt il en arrivera un volume élémentaire

$$Ama\ \sqrt{p-p''}\,.\,dt,$$

de sorte que le volume total

$$\frac{sx}{(100)^2}\ \frac{p''}{p}\ Ama\ \sqrt{p-p''}\,dt,$$

se répand dans l'espace $\frac{s}{(100)^2}(x+dx)$.

La pression devient $dp''+p''$, et on a pour la déterminer la proportion

$$\left(\frac{sx}{(100)^2}\ \frac{p''}{p}+Ama\sqrt{p-p''}.dt\right):\frac{s}{(100)^2}\left(x+dx\right)$$
$$::\ p''+dp''\ :\ p,$$

d'où l'on tire l'équation différentielle

$$\frac{s}{(100)^2}\left(p''dx+xdp''\right)=Amap\ \sqrt{p-p''}\,.\,dt,$$

dans laquelle x est une fonction de t, donnée par

le mouvement de la manivelle. Si l'on admet que le volant tourne uniformément, en appelant $\frac{\omega}{2}$ sa vitesse angulaire, et r le rayon de la manivelle, on aura à chaque instant

$$x = r\left(1 - \cos.\frac{\omega}{2}t\right).$$

On peut donc ramener l'équation ci-dessus à une équation différentielle, à une seule variable indépendante, mais elle présente des difficultés d'intégration. C'est pour les éviter, que nous avons supposé que dans une partie de la course p'' était constant, hypothèse qui ne peut être admise que pour la partie de la course où la vapeur arrive en plein sur le petit piston, par un orifice égal ou supérieur en surface à celui du robinet d'admission, et dans la partie la plus régulière de cette course. Au commencement et à la fin nous regarderons p'' comme variable, ainsi qu'on le verra plus loin.

Nous allons appliquer la valeur

$$p'' = -\frac{B}{2} + \sqrt{\frac{B^2}{4} + Bp},$$

à la machine de Watt à basse pression et à celle d'Edwards; mais auparavant il convient d'observer qu'elle est déduite de l'expression de la vitesse d'écoulement,

$$V^2 = 2g\frac{p - p''}{\pi} - 2\frac{\sigma l}{\Omega}bU^2,$$

dans laquelle les pressions p et p'' sont rapportées au mètre carré, que l'on a pris pour unité de surface, tandis que, dans la formule relative aux machines à vapeur, p et p'' désignent des pressions sur un centimètre carré; ainsi la valeur de p'', qu'on déduira de l'expression ci-dessus, devra être divisée par 10000 pour obtenir la pression sur un centimètre carré, si en la calculant on a pris pour p la pression de la production par mètre carré; mais si l'on prend simplement pour p la pression de la production par centimètre carré, le facteur

$$\left(\frac{(100)^2\, Amapt_{,}}{sl}\right)^2 = B,$$

devra être multiplié dans les applications par 10000, rapport du mètre au centimètre carré. D'après cette observation il devient facile d'appliquer la formule.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'une machine de Watt à basse pression; on sait que dans ces machines la règle ordinaire est de donner à l'orifice qui amène la vapeur $\frac{1}{25}$ de la surface du piston, et que la pression dans la chaudière est de $1^{\text{atm.}},25$. De plus la vitesse du piston est réglée à 1^{m}. par seconde; nous avons donc

$$p = 1^{\text{atm.}}.25 = 10339^{\text{k}} \times 1.25 = 12923^{\text{k}}.7$$

par mètre carré.

$$l = 1\ ;\ t_{,} = 1\ ;\ \frac{\frac{a}{s}}{(100)^2} = \frac{(100)^2\, a}{s} = 0.4.$$

Quant au facteur

$$A = \sqrt{\frac{2g}{\pi\left(1 + 0.0771\,\frac{Lbm^2a^2}{D^5}\right)}},$$

nous y supposerons $b = 0$, parce que la longueur L du tuyau étant ordinairement de quelques mètres au plus, le terme relatif au frottement a une valeur très-petite et n'influe pas sensiblement sur celle de A, qui se réduit alors à

$$A = \sqrt{\frac{2g}{\pi}}.$$

La densité ou le poids du mètre cube de vapeur à $1^{atm.},25$, étant de $0^{k},722$, nous avons

$$A = 5.213;$$

Il résulte de là que

$$\frac{(100)^2\,Amapt_{\prime}}{sl} = 2794^{k}.849927, \text{ et}$$

$$B = \left(\frac{(100)^2\,Amapt_{\prime}}{sl}\right)^2 = 7810980.$$

En substituant cette valeur et celle de p dans

$$p'' = -\frac{B}{2} + \sqrt{\frac{B^2}{4} + Bp},$$

on obtient, tous calculs faits et en divisant par 10000 pour avoir la pression sur un centimètre carré,

$$p'' = 1.269.$$

Ainsi la pression dans le cylindre ne diffère que de $0^k,023$, ou de 0,0222 de celle de la production qui est de $1^k,293$ par centimètre carré.

On voit donc que dans les machines de Watt, on peut sans erreur sensible admettre que la pression dans le cylindre est la même que dans la chaudière, quand l'ouverture de l'orifice d'admission se fait instantanément et reste totale pendant toute la course, puisqu'elle en est les 0,982.

Appliquons la même formule à la machine de Douay, et choisissons la cinquième des expériences rapportées plus loin, pour laquelle nous avons $p = 3,05 = 31534$ kil. par mètre carré. La température correspondante à cette pression est de 136°; nous avons donc (cours de 1826)

$$\pi = \pi' \frac{1 + 0.00375\, n'}{1 + 0.00375\, n} \frac{p}{p'} = 1.6332,$$

en y faisant

$$p' = 1^{\text{atm.}} = 10339;\ n' = 100^\circ;\ \pi' = 0^k.5882,$$

nous en déduisons,

$$A = \sqrt{\frac{2g}{\pi}} = 3.466.$$

en négligeant toujours le terme relatif au frottement dans le tuyau de conduite.

De plus, dans l'expérience dont nous nous occupons, nous avons

$a = 0^{mc}.000306$ (*a*); $\frac{s}{(100)^2} = 0^{mc}\ 60801$;

$\frac{(100)^2 a}{s} = 0.0044$; $\frac{l'}{l} = 1.145$; $m = 0.93$;

on en déduit :

$$\frac{(100)^2\, Amapt,}{sl} = 512^k.09286, \text{ et}$$

$$B = \left(\frac{(100)^2\, Amapt,}{sl}\right)^2 = 262239,$$

et par suite :

$$p'' = 2^k.8447 \text{ par centimètre carré.}$$

La différence de cette pression moyenne dans le cylindre à celle de la production, est de

$$0^k,3087,$$

ce qui revient à 0,0969 de celle de la production dans la chaudière.

Ainsi, dans cette machine, si la vapeur arrivait pendant toute la course du piston par un orifice égal en surface à celui du robinet d'admission, la pression moyenne dans le petit cylindre serait égale à

0,9021

(*a*) Nous avons obtenu la surface de cet orifice du robinet d'admission, en prenant avec soin son empreinte avec de la cire; et nous avons retrouvé facilement son tracé, qui est celui d'un ovale, dont la surface se calcule aisément.

de celle qui a lieu dans la chaudière ; et il n'y aurait pas d'erreur bien grande à la supposer égale. L'orifice du robinet d'admission est donc suffisant; mais la troisième condition, sur laquelle est fondée l'équation de la machine à vapeur, modifie beaucoup ce résultat, comme nous allons le voir.

Elle consiste en ce qu'on a admis que la vapeur était introduite dans le petit cylindre pendant toute la course du petit piston, ce qui est vrai pour certaines machines, telles que celles de Watt, employées aux épuisemens, aux machines soufflantes, et même à des mouvemens de rotation; mais, dans le premier système d'Edwards, dont il s'agit ici, et qui depuis a été perfectionné, cette introduction est déterminée par le mouvement d'une boîte glissante ou d'un tiroir qui s'abaisse progressivement pendant $\frac{2}{6}$ de la course du piston pour démasquer un orifice, reste stationnaire pendant un autre sixième, remonte pendant $\frac{2}{6}$ pour fermer le premier orifice et en ouvrir un autre, puis reste encore stationnaire pendant le dernier sixième. Ce mouvement est produit par la pièce qu'on nomme l'excentrique, et dont il est bon de rappeler le tracé pour examiner ses effets. (Fig. 4, Pl. VI.)

Soit *ao* la course totale que l'on veut faire parcourir deux fois, l'une en descendant, l'autre en montant, aux boîtes à vapeur pour une

descente du piston ; avec *ao* on décrit un cercle que l'on partage ensuite en six parties égales. Des points *a*, *c* de cette division, comme centre, on décrit des arcs de cercle *oc*, *ao*, qui avec *ac* forment un triangle curviligne équilatéral ; si l'on conçoit que ce triangle soit en relief sur un plateau, auquel on communique un mouvement de rotation continu autour du point *o*, tel qu'il accomplisse une révolution entière pendant une descente du piston, et que ce même triangle soit introduit dans un rectangle *mnpq*, dont les côtés *mn* et *pq* ont un écartement égal au rayon *oa*, augmenté d'un demi-millimètre pour la facilité du jeu, et qui ne puisse prendre qu'un mouvement de translation rectiligne alternatif, il est clair que cet excentrique fera monter et baisser le rectangle et par suite les tiges auxquelles il est fixé, et qui entraînent avec elles les tiroirs des boîtes à vapeur. Cherchons la loi de ce mouvement, et supposons que l'excentrique ait passé de la position *aoc* à la position *bod*, le côté inférieur du rectangle sera parvenu de *pq* en *p'q'*, poussé par l'arc *oc* qui est venu en *od*. La hauteur dont ce côté inférieur est descendu sera égale à la flèche de l'arc *od*, ou à celle de l'arc *bob*, ou enfin au sinus verse de l'arc parcouru par les sommets de l'excentrique autour du point *o* ; cette hauteur sera donc égale à

$$r - r \cos.(aob).$$

Or si nous appelons ω la vitesse angulaire du plateau qui porte l'excentrique et que nous regardons comme constante, en désignant par $t_{,}$ le temps écoulé pendant le mouvement, nous aurons

$$aob = \omega t_{,},$$

et par suite la descente h du rectangle sera

$$h = r\,(1 - \cos.\, \omega t_{,}).$$

Ce mouvement est précisément celui que produirait une manivelle dont le rayon serait r; mais il faut observer que cette expression ne peut s'appliquer qu'autant que l'excentrique pousse le côté inférieur du rectangle par sa convexité, ce qui a lieu jusqu'à ce que le point c soit arrivé en e, ou le point a en c, c'est-à-dire dans le premier tiers du temps employé à la demi-révolution du plateau. Appelant ce temps t, nous aurons, par suite de la division de la circonférence en six parties égales et de l'uniformité du mouvement du plateau,

$$\text{Cos.}\, \frac{\omega t}{3} = \frac{1}{2}.$$

Ainsi, dans le premier tiers du temps t, la descente du rectangle, produite par la convexité de l'arc, sera

$$h = r - \tfrac{1}{2}\, r = \tfrac{1}{2}\, r.$$

A partir de cet instant, c'est le sommet c qui

agit, et lorsque ce point est passé de e en e', la descente du côté inférieur est devenue $e's$, l'arc décrit par le plateau est ac, et l'on a

$$e's = h = r\cos.[\pi - (\omega t + \tfrac{1}{3}\pi)] = -r\cos.(\tfrac{1}{3}\pi + \omega t),$$

quantité qu'il faut prendre, abstraction faite du signe —. Or, d'après le mouvement uniforme du plateau, nous avons

$$\tfrac{1}{3}\pi = \frac{\omega t_{,}}{3}, \text{ et par suite}$$

$$h = r\cos.\left(\frac{\omega t_{,}}{3} + \omega t\right).$$

Si nous y faisons $t = \frac{2t_{,}}{3}$, pour avoir la valeur de h après deux tiers du temps de la demi-révolution du plateau, nous aurons pour la descente,

$$h_{,} = r\cos.\omega t_{,} = r\cos.\pi = r.$$

Ainsi, dans les deux tiers d'une demi-révolution du plateau, le rectangle, et par suite les tiroirs, sont descendus de la hauteur donnée, égale au rayon de l'excentrique, et de plus, dans le second tiers du mouvement, la descente a été de $\frac{1}{2}r$ comme dans la première. On voit donc qu'à trois positions du rectangle, sa descente a été la même que si son mouvement avait été uniforme, avec une vitesse égale à $\frac{r}{t}$.

D'après la construction de l'excentrique, il est clair que, dans le troisième tiers de la révolution du plateau, le rectangle ne changera pas de position, puisque la distance de tous les points de l'arc, qui presse son côté inférieur, sera toujours égale au rayon de cet arc; ensuite il commencera à remonter, parce que l'arc *oc* parvenu en *oi* poussera le côté supérieur *mn* par sa convexité, et le mouvement suivra la même loi en sens inverse. Pendant deux tiers de cette course rétrograde, les tiroirs remonteront, puis resteront stationnaires pendant l'autre tiers.

Appliquant ce qui précède au jeu des tiroirs de notre machine, nous avons désigné par a la surface de l'orifice du robinet d'admission de la vapeur, et il est clair que dès l'instant où les tiroirs auront démasqué une ouverture égale en surface à a, l'écoulement de la vapeur se fera absolument de la même manière que quand l'ouverture du tiroir sera découverte en entier, puisqu'il ne peut pas passer plus de vapeur par le robinet d'admission.

Soit e la largeur constante du passage du tiroir; nous avons vu que, dans la première période de sa descente, la hauteur dont le rectangle ou le tiroir s'abaisse, est exprimée par

$$h = r\,(1 - \cos.\,\omega t).$$

La surface de l'orifice démasqué sera donc

$$he = r(1 - \cos.\omega t)\, e.$$

Il s'agit de savoir après quel temps nous aurons

$$r(1 - \cos.\omega t)\, e = a.$$

Cette équation nous donne

$$\text{Cos.}\,\omega t = \frac{re - a}{re}.$$

Or nous avons pour le petit cylindre :

$$r = 0^{m},076;\; e = 0^{m}.038;\; a = 0^{mc}.000306.$$

Nous obtenons par la substitution

$$\cos.\omega t = 0,89375, \text{ d'où}$$
$$t\omega = \text{arc } 26°,20'.$$

Dans la cinquième expérience dont nous nous sommes déjà occupé, le volant faisant 24 tours en 1', ce qui correspond à 48 demi-courses du piston, et à 48 révolutions du plateau de l'excentrique; ainsi

$$\omega = \tfrac{48}{60}.\, 2\pi = 0.8 \times 2\pi; \text{ de plus}$$
$$\text{arc } 26°\, 20' = 0.0731 \times 2\pi; \text{ on obtient donc}$$
$$t = \frac{\text{arc } 26°\, 20'}{\omega} = 0''.0913.$$

Ainsi après 0'',0913, l'orifice démasqué par le tiroir a la même surface que l'ouverture du robinet d'admission ; l'écoulement se fait donc dès lors comme si le tiroir était plus ouvert.

La vapeur continuera d'affluer de la même manière dans le cylindre, tant que dans son mouvement rétrograde le tiroir laissera une ouverture plus grande que a; or, il est évident que l'ouverture égale à a dans la fermeture, correspondra précisément au même angle de 26°20′ de l'autre côté du diamètre vertical, et que par conséquent l'excentrique emploiera pour fermer tout-à-fait l'orifice à partir de cette position, le même temps de

$$0'',0913.$$

D'ailleurs, comme l'orifice reste fermé pendant $\frac{1}{5}\ t,$ il s'ensuit que l'écoulement aura lieu avec toute l'abondance permise par l'ouverture a du robinet d'admission pendant

$$\tfrac{4}{5}\ t_{,} - 2 \times 0'',0913.$$

$t_{,}$ est le temps employé à la demi-révolution du plateau qui porte l'excentrique; c'est la moitié de la durée de la demi-course, et nous avons

$$t_{,} = 0'',625.$$

Ainsi le temps T, pendant lequel l'introduction de vapeur a lieu dans le petit cylindre par un orifice aussi grand que a, sera

$$T = \tfrac{4}{5}\ 0'',625 - 2 + 0'',0913 = 0''.8590.$$

La durée de la descente du piston étant $2t_{,} = 1''25$,

on voit que la vapeur n'arrive en plein sur le piston que pendant

$$\frac{0.8590}{1.250} = 0.6872 \text{ de la durée de sa course.}$$

On se rappelle que la formule d'écoulement est

$$Ama\ \sqrt{p-p''} \text{ mètres cubes en } 1'',$$

et qu'on y regarde p'' comme constant, et ayant la valeur moyenne que nous avons déterminée précédemment; il n'y avait qu'à y substituer les données numériques, pour obtenir le volume de vapeur introduit dans le cylindre à la pression p, pendant le temps T; mais on peut l'obtenir immédiatement, puisqu'en appelant l cette portion de la course pendant laquelle la vapeur arrive en plein, il est clair qu'après que le piston l'aura parcourue, le cylindre aura reçu un volume de valeur $\frac{ls}{(100)^2}$ à la pression p'', ou à cause de

$$l_{\prime} = 0.6872\ l; \quad \text{et } p'' = 0.9021\ p;$$

le volume de vapeur à la pression p (sur un mètre carré) introduit dans le cylindre, pendant cette partie de la course, sera

$$\frac{s}{(100)^2}\, l' \frac{p''}{p} = \frac{s}{(100)^2}\, l \times 0.6197.$$

C'est à cette période de la descente du piston

que nous bornerons l'emploi de la valeur de p'', considérée comme constante, parce que c'est dans cette période que cette valeur de p'' peut être admise avec le moins d'inconvénient, et en s'écartant le moins de la vérité. Mais quoiqu'au commencement et à la fin de la descente elle ne soit pas admissible, on va voir qu'elle facilite beaucoup la détermination du volume de vapeur introduit dans le cylindre à ces premiers et derniers instans de sa course.

En effet, au commencement de la course, l'orifice est variable, suivant la loi donnée par l'expression

$$r(1 - \cos.\ \omega t)e,$$

en même temps le mouvement vertical du piston ne peut plus être regardé comme uniforme aux deux extrémités de sa course, et il est facile de voir que la vitesse angulaire du plateau étant toujours ω et double, comme on sait, de celle du volant ou de la manivelle, la descente du piston sera donnée par la formule

$$x = r'\left(1 - \cos.\ \frac{\omega}{2}t\right),$$

r' étant le rayon de la manivelle.

L'ouverture de l'orifice démasqué par le tiroir étant

$$r(1 - \cos.\ \omega t)e,$$

et p'' étant la pression par mètre carré dans le cylindre, à un instant quelconque, laquelle n'est plus regardée comme constante, puisque dans l'ouverture progressive elle est d'abord égale à celle qui a lieu dans le grand cylindre après la détente, et qu'ensuite elle devient égale à la pression moyenne ou constante dont nous avons trouvé la valeur ; le volume de vapeur à la pression p (par mètre carré) introduit dans un instant infiniment petit, par cette ouverture progressive, sera

$$Amr\,(1 \cos.\ \omega t)\ e\ \sqrt{p-p''}\ .\ dt,$$

mais nous avons vu qu'en regardant la pression dans le cylindre comme variable à chaque instant, on obtient l'équation différentielle

$$\frac{s}{(100)^2}\,(p''dx + xdp'') = Amap\sqrt{p-p''}\ .\ dt,$$

et à cause qu'ici a doit être remplacé par sa valeur en t

$$r\,(1 - \cos.\ \omega t)\,e,$$

cette équation devient

$$\frac{s}{(100)^2}\,(p''dx + xdp'') = Amer(\cos.\ \omega t)\,p\sqrt{p-p''}.\ dt,$$

d'où l'on tire, pour la dépense pendant l'instant dt,

$$Amer(1-\cos.\omega t)\sqrt{p-p''}.dt=\frac{s}{(100)^2}\frac{p''dx+xdp''}{p}$$

$$\text{ou}\quad \frac{s}{(100)^2}\frac{d.(p''x)}{p},$$

et en intégrant on a pour le volume de vapeur introduit après un temps quelconque

$$Amer\int(1-\cos.\omega t)\sqrt{p-p''}.dt=\frac{s}{(100)^2}\frac{p''x}{p}+C.$$

En y mettant pour x sa valeur

$$x=r'\ (1-\cos.\tfrac{\omega}{2}\,t),$$

elle devient

$$Amer\int(1-\cos.\ \omega t)\sqrt{p-p''}\ .\ dt$$
$$=\frac{s}{(100)^2}\frac{r'}{p}\ p''\ (1-\cos.\ \tfrac{\omega}{2}\ t)+C.$$

Quoique la loi qui lie p'' au temps t ne nous soit pas donnée, puisque nous n'avons pas intégré l'équation différentielle qui l'exprime, nous pouvons cependant obtenir le volume de vapeur dépensé pendant les portions de la course du piston, qui précèdent et suivent l'écoulement en plein, parce que pour chaque limite de l'intégrale ci-dessus nous pouvons déterminer les valeurs simultanées de p'' et de t.

En effet, à l'origine du mouvement, quand le piston commence à descendre, nous avons

$$t=0,\quad \text{ou}\ \cos.\tfrac{\omega}{2}\,t=1.$$

pour cette première limite, la dépense de la vapeur est nulle ainsi que la constante; à la seconde limite $t = 0'',0913$, et p'' prend la valeur moyenne trouvée précédemment.

Pour la fermeture progressive on aurait la même expression, parce que celle de la dépense ne dépend que de x, qui est toujours déterminé par le mouvement de la manivelle, au moyen de la même équation; seulement les limites sont changées.

La première est relative au commencement de la fermeture, et d'après ce que nous avons vu on a d'abord

$$t = 0''.8590 + 0''.0913 = 0''.9503,$$

et en même temps p'' a la valeur moyenne correspondante à la période de l'écoulement en plein; à la seconde limite l'ouverture est tout-à-fait fermée,

$$t = \tfrac{5}{3}\, t_{,} = \tfrac{5}{3} \,.\, 0''.625 = 1''.0416.$$

mais ici la valeur de p'' ne nous est pas donnée par l'état de la machine, et nous sommes forcés à une supposition qui s'écarte peu de la vérité, et qui consiste à admettre que sa valeur à cette limite est la moyenne arithmétique entre la pression constante $2^k,8447$ par centimètre carré que nous avons trouvée, et celle qui aurait lieu si, à partir du temps $t = 0''$, 9503, où

commence la fermeture, l'introduction de la vapeur avait totalement cessé. Cette dernière pression sera facile à obtenir, puisqu'elle sera avec la précédente qui est relative à l'écoulement en plein, en raison inverse des volumes engendrés par le piston après $0''.9503$ et $1''{,}0416$.

Passons aux applications, et examinons d'abord l'ouverture progressive.

Pour la première limite :

$$t = 0 ; \cos. \frac{\omega}{2} \ t = 1.$$

p'' est l'extension de la détente, et égal, comme on le verra, à $0{,}27 \times 2^{k}.8447$; la dépense est nulle.

Pour la seconde limite, l'ouverture est égale en surface à a, et $t = 0''.0913$, ce qui revient à

$$\omega t = 26^{\circ}.\ 20',$$

et par suite $\frac{\omega}{2} t = 13^{\circ} 10'$, $\cos.\ 13^{\circ}\ 10' = 0.9737$

$$1 - \cos. \frac{\omega}{2} t = 0.0263 ,\ r' = \frac{1^{m}.090}{2} = 0.5455,$$

$$\frac{p''}{p} = 0.9021.$$

On en déduit, pour la dépense de vapeur à la pression p (sur un mètre carré), entre ces deux limites :

$$\frac{s}{(100)^{2}} \cdot 0^{m}.5455 \times 0.0263 \times 0.9021 =$$

et comme $0.5455 \times 0.0263 = 0.01315\ l$,

l étant toujours la course du piston égale à $1^m.090$, il s'ensuit que la dépense ci-dessus, depuis l'instant où l'orifice commence à être démasqué jusqu'à celui où il est égal en surface à celui du robinet d'admission, est

$$\frac{sl}{(100)^2} \cdot 0.01315 \times 0.9021.$$

Nous avons vu que dans la fermeture de l'orifice sa surface étant égale à a lorsque l'angle de l'excentrique qui pousse alors le côté supérieur du rectangle était à 26° 20′ à gauche de la verticale; or, à cet instant, le plateau de l'excentrique a décrit depuis l'origine du mouvement un angle de

$$360° - 86° \, 20' = 273° \, 40' = \omega t,$$

comme le montre l'inspection de la figure. La manivelle a donc décrit alors un angle de

$$\frac{\omega}{2} t = 136° \, 50',$$

dont le cosinus est négatif et égal en valeur absolue à celui de 43° 10′ ou à 0.7294; ainsi,

$$\cos. \frac{\omega}{2} t = -0.7294;$$

$$r'\left(1 - \cos. \frac{\omega}{2} t\right) = 0.5455 \times 1.7294 = 0.94338.$$

p'' a la valeur moyenne de $2^k.8447$, relative à la période de l'écoulement en plein, $\frac{p''}{p} = 0.9021$.

Ainsi, à la première limite de la fermeture, on a

$$\frac{s}{(100)^2} r'(1-\cos.\tfrac{\omega}{2} t)\frac{p''}{p} = \frac{s}{(100)^2}\, 0.94338 \times 0.9021.$$

L'ouverture démasquée par le tiroir est tout-à-fait recouverte après $\frac{5}{6}\,t'$, ou quand le plateau de l'excentrique a parcouru 300° et n'a plus à décrire que les 60° pendant lesquels il maintient la fermeture complète. La manivelle a dans le même temps parcouru un angle moitié, et l'on a

$$\frac{\omega}{2} t = 150^\circ\,;\ \cos.\frac{\omega}{2} t = -\ 0.8660,$$

$$r'(1-\cos.\frac{\omega}{2} t) = 1.8660 \times 0^m.5455 = 1.0179.$$

A cette seconde limite la valeur de p'' ne nous est pas donnée, mais nous avons vu comment nous la trouverions approximativement. Au moment où la fermeture est complète, le piston est descendu de $1^m.0179$, et si l'introduction de la vapeur cessait depuis l'instant où l'ouverture était égale à a, et ou le piston était descendu de $0^m.94338$, position pour laquelle $p'' = 2^k.8447$, en appelant P la pression qui s'établirait dans le cylindre, elle serait avec p'' en raison inverse des volumes ou des courses, et l'on aurait

$$2.8447 : P :: 1^m.0179 : 0^m.94338, \text{ d'où}$$

$$P = 2^k.6344,$$

et la moyenne arithmétique entre cette pression et celle de $2^k.8447$ est

$$2.7405$$

que nous prendrons pour la valeur de p'' à la seconde limite de la fermeture. On voit qu'elle diffère peu de la tension moyenne $2^k.8447$, et qu'ainsi la supposition à l'aide de laquelle nous l'avons obtenue n'introduit pas une erreur notable dans les résultats. D'après cela, nous avons à la seconde limite de la fermeture, attendu que

$$2^k.7405 = 0{,}9633 \times 2^k.8447,$$

$$\frac{s}{(100)^2} r' \left(1 - \cos. \frac{\omega}{2} t\right) \frac{p''}{p} = \frac{s}{(100)^2} 1^m.0179 \times \frac{2.7405}{3.1534}.$$

$$= \frac{s}{(100)^2} 0^m.97054 \times 0.9021.$$

Le volume de vapeur à la pression p (sur un mètre carré), écoulé entre les deux limites de la fermeture est donc,

$$\frac{s}{(100)^2} (0.97054 - 0.94338)\, 0.9021, \text{ ou}$$

$$\frac{s}{(100)^2} 0^m.02716 \times 0.9021\,;$$

et pour rapporter ce volume à celui qui est engendré par le piston, nous observerons que

$$0^m.02716 = 0.0248 \times 1^m.091 = 0.0248\ ,$$

ce qui donne pour le volume écoulé dans cette dernière partie de la course de piston

$$\frac{s}{(100)^2}\, l \times 0.0248 \times 0.9021.$$

Ainsi, en récapitulant, nous voyons que le volume de vapeur introduit dans le cylindre à la pression p rapportée au mètre carré, depuis le moment où le tiroir commence à démasquer l'orifice jusqu'à celui où la surface de l'ouverture est égale à celle du robinet d'admission, est. . . . . $\frac{sl}{(100)^2}.0.0131 \times 0.9021.$

Pendant tout le temps où l'orifice démasqué reste égal ou supérieur en surface à celui du robinet. . . . . . $\frac{sl}{(100^2)}.0.6872 \times 0.9021.$

Depuis l'instant où l'ouverture démasquée n'a plus en surface que celle du robinet jusqu'à celui où elle est tout-à-fait fermée. . . . $\frac{sl}{(100)^2}.0.0248 \times 0.9021.$

Dans toute sa course le piston ne reçoit donc que. . $\frac{sl}{(100)^2}.0.7251 \times 0.9021,$

ou $0\ 6541\ \frac{sl}{(100)^2}$ mètres cubes de vapeur à la pression p de la production dans la chaudière rapportée au mètre carré.

Tel serait en effet le volume de vapeur à la pression p introduit dans le petit cylindre de la

machine de Douai pendant une descente ou une montée du piston, si les tiroirs commençaient à démasquer l'orifice d'introduction en même temps qu'ils commencent à descendre ; mais il n'en est pas tout-à-fait ainsi, parceque dans toutes les machines le tiroir porte un recouvrement qui dépasse, au-dessus et au-dessous, l'orifice d'introduction d'une certaine quantité ; ce qui exige que l'excentrique parcoure un petit arc avant que les tiroirs ne permettent l'entrée de la vapeur dans le cylindre et retarde l'instant où l'ouverture démasquée est égale à celle du robinet d'admission ; et, comme pendant ce temps le piston chemine, il en résulte que le volume de vapeur introduit dans le cylindre est encore diminué. Nous allons encore suivre l'excentrique de la machine de Douai dans toutes ses positions, pour voir quel est l'effet de ce recouvrement, et nous commencerons par indiquer ce qui en résulte pour la partie de la course du piston où il reçoit la vapeur en plein, c'est-à-dire par un orifice égal ou supérieur en surface à celui du robinet d'admission.

Dans cette machine le recouvrement est de $0^m.004$; appelons-le d. Il est clair que le tiroir devra être descendu de la hauteur d, avant d'avoir commencé à permettre l'écoulement de la vapeur. La largeur de l'orifice étant e, cela revient à lui faire décrire une surface de, de sorte que l'écou-

lement n'aura lieu en plein que quand on aura

$$r(1-\cos.\omega t)e=a+de,$$

et comme nous avons

$$r=0^{m}.076;\quad e=0^{m}.038;\quad a=0^{mc}.000306;$$
$$d=0.004.$$

On tire de cette équation :

$$\cos.\omega t=0.8424,\quad \text{ou}\ \omega t=32^{\circ}\,36';$$

ainsi l'orifice ne sera ouvert d'une surface égale à a qu'après que l'excentrique aura parcouru

$$36^{\circ}\,36'.$$

L'équation ci-dessus en y faisant $a=0$, nous donnera pour l'instant où l'orifice commence à s'ouvrir

$$r(1-\cos.\omega t)e=de,\ \text{d'où}$$
$$\omega t=18^{\circ}\,40';$$

et comme l'orifice conserve une ouverture supérieure en surface à celle du robinet, jusqu'à ce que le tiroir soit revenu en remontant à une même hauteur, on voit que quand il sera dans le retour précisément égal à a, la plâteau de l'excentrique aura encore à parcourir, pour achever sa révolution, un arc de

$$60^{\circ}+32^{\circ}\,36'=92^{\circ}\,36',$$

dont l'ouverture n'est égale ou supérieure à a que pendant que le plateau parcourt

$$360^\circ - (92^\circ\, 36' + 32^\circ\, 36') \text{ ou } 224^\circ\, 48'.$$

Or, la vitesse $\omega = 0.8 \times 2\pi$; et l'on aura, pour déterminer le temps pendant lequel la vapeur arrive en plein, l'équation

$$\omega t = 224^\circ\, 48', \text{ d'où}$$
$$t = \frac{224^\circ\, 48'}{2\pi \times 0.8} = 0''.7805.$$

La course entière du piston se faisant dans 1'',250, nous voyons qu'il ne recevra la vapeur en plein que pendant

$$\frac{0.7805}{1''.250} = 0.6244 \text{ de sa course,}$$

tandis que si l'orifice avait été démasqué de suite, il l'aurait reçu en plein pendant

$$0.6872 \text{ de cette course.}$$

Dans l'ouverture progressive de l'orifice, le plateau de l'excentrique avait décrit 18° 40' avant que le bord du tiroir n'eût dépassé l'arête de cet orifice d'introduction; la manivelle avait à cet instant parcouru un angle de 9° 20', le piston était donc descendu de

$$r'\left(1 - \cos.\frac{\omega}{2}\, t\right) = 0.5455 \times 0.01325 = 0^{m}.007227,$$

attendu que

$$\cos.\, 9^\circ\, 20' = 0.98675.$$

A cet instant la pression au-dessus du piston était, à très-peu près, celle de la détente, ou

$$0.27 \times 2^{k}.8447\,;$$

ainsi, à cette limite, nous avons

$$\frac{s}{(100)^2}\, r' \left(1 - \cos.\frac{\omega}{2}\, t\right) \frac{p''}{p} = \frac{s}{(100)^2} \cdot 0.0019\, \frac{p''}{p}.$$

Lorsque l'orifice est tout-à-fait ouvert, l'angle décrit par le plateau de l'excentrique est égal à 32° 36'; celui que la manivelle a parcouru est donc de

16° 18';

et l'on a

$$r' \left(1 - \cos.\frac{\omega}{2}\, t\right) = 0.5455 \times 0.0402 = 0^{m}.0219,$$

attendu que cos. 16° 18' = 0.9598.

La pression étant d'ailleurs alors la pression moyenne que nous avons trouvée, on a, à la seconde limite de l'ouverture,

$$\frac{s}{(100)^2}\, r' \left(1 - \cos.\frac{\omega}{2}\, t\right) \frac{p''}{p} = \frac{s}{(100)^2}\, 0.0217\, \frac{p''}{p}\,;$$

de sorte qu'entre ces limites le volume de vapeur à la pression p, introduit dans le cylindre, est

$$\frac{s}{(100)^2}\, 0.200 \times 0.9021, \text{ parce que } \frac{p''}{p} = 0.9021,$$

et comme

$$0^{m}.0200 = 0.183 \times 1.091 = 0.0183\ l,$$

ce volume sera

$$\frac{sl}{(100)^2} \times 0.0183 \times 0.9021.$$

La fermeture commence quand le plateau de l'excentrique a décrit un angle de

$$360^\circ - 92^\circ 36' = 267^\circ\ 24' = \omega t,$$

ce qui correspond pour la manivelle à un angle de

$$\frac{\omega}{2}\ t = 133^\circ\ 42',$$

dont le cosinus négatif est égal, et de signe contraire à celui de

$$46^\circ\ 18';$$

ainsi

$$r'\left(1 - \cos.\frac{\omega}{2}\ t\right) = 0.5455 \times 1.6909 = 0.92238.$$

A cet instant la pression a sa valeur moyenne,

$$2^{k}8447.$$

par centimètre carré.

Ainsi, à cette limite de la fermeture on a

$$\frac{s}{(100)^2} r'\left(1 - \cos.\frac{\omega}{2}t\right)\frac{p''}{p} = \frac{s}{(100)^2} . 0.92238 \times 0.9021.$$

A la seconde limite on a

$\omega t = 360° - 78° 40' = 281° 20'$, ce qui donne

$$\frac{\omega}{2} t = 140° 40',$$

dont le cosinus est négatif et égal en valeur absolue à

$$\cos. 39° 20' = 0{,}7735;$$

on a donc à cette limite

$$r' \left(1 - \cos. \frac{\omega}{2} t\right) = 0.5455 \times 1.7355 = 0.9674.$$

Il faut ici prendre une moyenne arithmétique, comme nous l'avons fait précédemment, pour trouver une valeur approximative de p''; on a, pour la déterminer, en appelant P la pression qui aurait lieu, si l'introduction cessait complétement lorsque le piston est descendu de $0^{m}.9223$,

$2^{k}.8447 : P :: 0.974 : 0.9223$, d'où
$P = 2^{k}.6895$ sur un centimètre carré.

La moyenne arithmétique, entre $2^{k}.6895$ et $2^{k}.8447$, est

$$2^{k}.7671,$$

que nous prendrons pour la valeur de p'' sur un centimètre carré, à cette seconde limite; et comme

$$2^{k}.7671 = 0.9720 \times 2^{k}.8447,$$

on voit qu'à cette limite nous aurons

$$\frac{s}{(100)^2} r'\left(1 - \cos.\frac{\omega}{2} t\right) \frac{p''}{p} = \frac{s}{(100)^2} \times 0.9674$$
$$\times 0.9720 \times 0.9021 = \frac{s}{(100)^2} \times 0.94035$$
$$\times 0.9021.$$

Ainsi, entre les deux limites de la fermeture, la dépense de vapeur à la pression p est

$$\frac{s}{(100)^2}\ (0.94035 - 0.92238)\ 0.9021$$
$$= \frac{s}{(100)^2} . 0.01797 \times 0.9021$$

p étant rapporté au mètre carré; et à cause de

$$0.01797 = 0.0164 \times 1.091 = 0.164\, l,$$

sa valeur en fonction de $\frac{sl}{(100)^2}$ sera

$$\frac{sl}{(100)^2} . 0.0164 \times 0.9021.$$

En récapitulant, nous voyons que le cylindre reçoit, à la pression p rapportée au mètre carré, un volume de vapeur, réparti ainsi qu'il suit entre les différentes époques de sa course,

	m. c.
Depuis que l'orifice d'introduction commence à être démasqué par le tiroir, jusqu'au moment où sa surface découverte est égale à a.	$\frac{sl}{(100)^2}.0.0183\times0.9021$
Pendant toute la partie de la course, où la surface de l'orifice démasqué est égale ou supérieure à celle du robinet d'admission a. .	$\frac{sl}{(100)^2}.0.6244\times0.9021$
Depuis l'instant de la fermeture, où l'ouverture cesse d'être égale ou supérieure à a, jusqu'à celui où l'orifice d'introduction est tout-à-fait couvert.	$\frac{sl}{(100)^2}.0.0164\times0,9021$

Ainsi, dans toute sa course, le piston ne reçoit qu'un volume. . . . . $=\frac{sl}{(100)^2}.0.6591\times0.9021$ de vapeur à la pression p de la production, ou de 31534 kil. par mètre carré, ce qui revient à $\frac{sl}{(100)^2}.0.5945$;

tandis que si le recouvrement du tiroir avait été réduit à la stricte largeur nécessaire, qui est au plus de 1 millimètre, il en aurait reçu, à très-peu près,

$$\frac{sl}{(100)^2}.0.6541.$$

On voit, par ce résultat, le vice de ces recou-

vremens, que rien ne manifeste, et qui ne sont pas assez réguliers pour toutes les machines pour qu'on soit sûr qu'ils n'ont pas souvent des inconvéniens encore plus grands.

Nous avons beaucoup insisté sur tous ces détails du jeu du robinet d'admission et de l'excentrique, parce que l'action de ces pièces joue, comme on le voit, un rôle très-important dans les machines de Wolf, modifiées par Edwards.

On voit, par les résultats auxquels nous sommes parvenus, que c'est le robinet d'admission qui, par son orifice *a* règle la pression moyenne de la vapeur dans le petit cylindre, et cela explique pourquoi l'action du régulateur à force centrifuge, a une si grande influence sur la marche de cette machine. Nous avons trouvé, d'ailleurs, que dans la machine de Douai cet orifice était assez bien proportionné, puisque si l'introduction de la vapeur dans le cylindre se faisait toujours en plein, c'est-à-dire, si le tiroir n'existait pas, la pression moyenne au-dessus du piston ne serait pas au-dessous de celle de la chaudière de plus de 0,0969; mais, par l'effet du jeu des tiroirs, le volume de vapeur à la pression p, introduit dans le cylindre, n'étant que 0,5945 de celui de ce cylindre, il s'ensuit que la pression moyenne prise sur toute la course, n'est que

$$0{,}5945\ p.$$

Ce résultat final nous donne pour cette pression moyenne une valeur moindre que celle que nous avons trouvée pour la partie de la course où l'écoulement a lieu en plein, mais n'implique pas contradiction, parce qu'avant de recevoir de la vapeur, le piston a marché, qu'il en reçoit ensuite très-peu pendant l'ouverture, qu'il en reçoit à la fin de sa course une quantité qui varie ordinairement pendant la fermeture, et qu'enfin il n'en reçoit pas du tout pendant une partie de la fin de sa course, et que par conséquent la pression moyenne finale doit être beaucoup au-dessous de celle qui a lieu pendant l'écoulement en plein.

On voit que, pour rendre la pression moyenne plus forte dans le cylindre, il suffirait de donner à l'orifice d'introduction du tiroir plus de longueur, sans rien changer à son mouvement. Le robinet d'admission n'en conserverait pas moins son action régulatrice, et la surface d'orifice démasquée serait bien plus tôt égale à celle de ce robinet; par conséquent, l'écoulement en plein aurait lieu pendant une partie plus considérable de la course, ce qui augmenterait la pression moyenne finale. Il est clair, d'ailleurs, qu'il faudrait réduire le mouvement du tiroir au strict nécessaire.

Cette réduction de près de moitié de la pression de la production de la vapeur, n'est pas la suite d'un défaut de combinaison dans les parties

de la machine d'Edwards, c'est un résultat qu'il a voulu obtenir, afin de pouvoir laisser détruire la vapeur dans son grand cylindre, jusqu'à une demi-atmosphère, sans augmenter la capacité de celui-ci au delà du quadruple de celle du petit. Dans le cas de l'expérience que nous avons citée, où la pression de la production était de $3^k,1534$ par centimètre carré, la machine ne recevait réellement que de la vapeur à $1^k,8740$ de pression par centimètre carré, qui était ensuite détendue jusqu'à 0,27 de sa force primitive, comme on le verra plus loin, par suite des dimensions respectives des cylindres; de sorte qu'à la fin de la détente, la pression dans le grand cylindre n'était que de

$$0,27 \times 1^k,8740 = 0^k,506$$

par centimètre carré ou une demi-atmosphère, comme le constructeur se l'était proposé.

Il y a dans la machine de Douai une disposition assez singulière, que l'on croirait n'être qu'une faute d'ouvrier, si elle n'avait été remarquée sur plusieurs machines sorties des mêmes ateliers. Elle consiste en ce qu'au commencement de chaque descente et de chaque montée du petit piston, le tiroir laisse, pendant une certaine portion de la course, arriver à la fois la vapeur dessus et dessous le petit piston, qui se trouve ainsi pressé des deux côtés en sens contraire par de la vapeur à

la même tension. Nous avons observé la même disposition à Strasbourg dans une machine de huit chevaux, et à Anzin dans une autre de dix chevaux. Il paraîtrait donc qu'il y a eu ici une intention déterminée, dont il est assez difficile de se rendre compte. Aurait-on reconnu que la détente jusqu'à $\frac{1}{7}$ atmosphère était poussée trop loin, et pour y remédier, aurait-on voulu augmenter la tension de la vapeur qui passe du petit au grand cylindre? Ce qui le ferait croire, c'est que le tiroir de ce dernier n'offre pas la même construction, et que la communication du dessous ou du dessus de son piston avec le condenseur, ne s'ouvre qu'au moment où la vapeur du petit cylindre commence à arriver dessus ou dessous. Si telle a été l'intention du constructeur, il aurait fallu que le tiroir du grand cylindre ne portât pas de recouvrement, afin de permettre, dès le premier instant de la course, le passage de la vapeur du petit au grand cylindre. L'augmentation de tension qui se produit dans le petit cylindre en occasione de même une dans le grand; mais, au premier moment de sa course, le petit piston, pressé également sur ses deux faces, ne tend pas à redescendre ou à remonter, et il faut que le volant, par son inertie, entretienne la continuité du mouvement. Nous n'insisterons pas sur cette disposition, parce qu'il n'est pas bien sûr qu'elle tienne à une idée particu-

lière du constructeur ; il suffit de l'avoir signalée.

Dans ce qui précède sur l'écoulement de la vapeur, nous avons fait observer que les formules étaient établies en rapportant les pressions au mètre carré, tandis que celle des machines à vapeur est calculée pour des pressions sur un centimètre carré; il importe de tenir compte de cette différence, et c'est ce que l'on peut faire facilement en observant que l'expression

$$\frac{slp}{(100)^2},$$

dans laquelle s est la surface du piston en centimètres carrés, l sa course en mètres, et p la pression sur un mètre carré, est identiquement la même que

$$s\,l\,p$$

dans laquelle s est toujours la surface en centimètres carrés, l la course en mètres, et p la pression de la même vapeur sur un centimètre carré.

Ainsi, dans la formule générale des machines à vapeur, donnée par M. Poncelet, il faut, pour l'appliquer aux machines d'Edwards de même construction que celle de Douai, remplacer p par o, 5945 p, d'après ce que nous avons vu. Mais cette machine est analogue à celle du Gros-Caillou, dans laquelle M. de Prony a admis que

la vapeur n'était introduite que pendant la moitié de la course du petit piston, ce qui revient à dire que la pression moyenne dans le petit cylindre n'était que la moitié de celle de la production; afin d'établir une comparaison analogue, nous adoptons la même réduction, et nous remplacons p par $0,50\,p$ dans la formule

$$slp\left(1+\log.\frac{p}{p_{\prime}}-\frac{p'}{p_{\prime}}\right)^{\text{k.m.}}$$

En observant que le volume $V_{\prime}$ en mètres cubes, du petit cylindre, est égal à $10000\,sl$, et que $\frac{p}{p_{\prime}}=\frac{V_{\prime}}{V}$, cette formule prend la forme

$$10000\,Vp\left(1+\log.\frac{V_{\prime}}{V}-\frac{V_{\prime}p'}{pV}\right);$$

en changeant p en $0.50\,p$, elle devient,

$$5000\,Vp\left(1+\log.\frac{V_{\prime}}{V}-\frac{2V_{\prime}p'}{pV}\right)^{\text{k.m.}}$$

C'est la quantité d'action ou de travail développée par la vapeur dans une course des pistons; pour obtenir celle qui est relative à la seconde, appelons n le nombre des révolutions du volant dans une minute $\frac{2n}{60}=\frac{n}{30}$ sera le nombre de coups de piston en une seconde, et la quantité d'action développée en une seconde sera

$$\frac{500}{3}\,nVp\left(1+\log.\frac{V_{\prime}}{V}-\frac{2V_{\prime}p'}{Vp}\right)^{\text{k.m.}}$$

Dans la machine de Douai,

Le diamètre du petit piston. . . $= 0^{m}.296$
Le diamètre du grand piston. . . $= 0^{m}.569$
Leur course commune. . . . . . $= 1^{m}.091$

On a donc

$$V = 0^{m}.0750\,;\quad V_{,} = 0^{m}.2744\,;\quad \frac{V_{,}}{V} = 3.698,$$

et la formule devient

$$\frac{500}{3}\, nVp\left(1 + \log.(3.698) - 2\times 3.698\frac{p'}{p}\right)^{\text{k. m.}}$$

ou, en remplaçant le logarithme népérien par un logarithme tabulaire, ce qui donne

$$\text{Log.}(3.698) = 2.3026 \log.(3.698) = 1.308,$$

faisant $V = 0^{m}.075$, et effectuant les calculs, elle se réduit à

$$n\,(28.86\,p - 92.45\,p')^{\text{k. m.}}$$

C'est sous cette forme que nous l'avons employée pour calculer, dans chacune de nos expériences, la quantité d'action ou de travail théorique transmise par seconde à la machine.

Avant de donner les résultats obtenus sur la machine de Douai, avec le frein de M. de Prony, il convient d'indiquer comment nous avons obtenu d'une manière exacte la pression de la vapeur dans la chaudière. Il était en effet nécessaire de la chercher par un moyen direct, car

on sait que les manomètres des machines à moyenne pression, ne doivent en principe indiquer que l'excès de la pression réelle de la vapeur sur celle de l'atmosphère. Ils sont gradués de manière que leur *zéro* doit correspondre à une atmosphère; le chiffre 15 indique 15 livres de pression par pouce carré en sus de l'atmosphère, ou deux atmosphères réelles; le chiffre 30, trois atmosphères réelles, etc.; de sorte que les chiffres de la division, correspondent à autant de livres de pression par pouce carré, en sus de l'atmosphère. Mais il arrive souvent que ces manomètres sont faux, soit par vice de construction et de graduation primitive, soit parce qu'ils s'altèrent; c'est ce qui se présentait à la fonderie de Douai, où le manomètre des chaudières retardait toujours sur celui de la chambre de la machine, dans un rapport constant sur une très-grande étendue. Ainsi, nous avons trouvé que l'indication du premier n'était que les 0,854 de celle du second, et ce rapport est déduit d'observations nombreuses faites pour des pressions très-différentes. Il était donc indispensable de s'assurer du rapport ou de la différence qui pourrait exister entre la pression réelle et celle qu'indiquait l'un ou l'autre de ces manomètres, celui de la chambre de la machine, par exemple, que nous observions pendant les expériences avec le frein.

Pour y parvenir, nous avons fait ajuster sur une des soupapes de sûreté un thermomètre centigrade, dont la boule plongeait dans la vapeur de la chaudière. Ce moyen ne peut, comme on sait, d'après les expériences récentes de MM. Arago et Dulong, être employé que pour des pressions qui ne dépassent pas quelques atmosphères, parce qu'au delà, la compression que l'élasticité du fluide exerce sur la boule du thermomètre, la contracte et produit une élévation de la colonne de mercure, étrangère à la dilatation due à la température; mais, dans le cas d'une machine à vapeur de moyenne pression, où l'on ne dépasse guère trois atmosphères, il est suffisamment exact. Afin d'être plus sûrs de nos résultats, nous avons aussi vérifié notre thermomètre en le plongeant dans de l'huile, avec un thermomètre de Colardeau, et en suivant leur marche simultanée.

Nous avons fait plusieurs observations, et nous avons trouvé qu'elles s'accordaient toutes pour indiquer que le manomètre de la chambre de la machine retardait de $1^{atm.}.366$ sur la pression réelle qui avait lieu dans la chaudière, et ce résultat moyen de neuf expériences ne diffère de celles qui s'en écartent le plus que de 0.06 d'atmosphère; ainsi il paraît pouvoir être admis avec confiance, et d'ailleurs il s'accorde avec l'usage des constructeurs. Dans le tableau des

expériences, on a indiqué, à côté de la pression réelle, celle que donnait le manomètre de la chambre en livres par pouce carré.

Dans nos expériences, sur la quantité d'action ou de travail disponible, que la machine transmettait, nous nous sommes proposé d'abord d'apprécier le moteur lui-même, lorsqu'il travaillait avec une ouverture totale du robinet d'admission, puis de trouver aussi celle qu'il transmettait quand l'ouverture de ce robinet était plus petite. Pour être sûr d'avoir une ouverture constante de ce robinet, nous l'avons détaché du régulateur à force centrifuge, et nous avons indiqué par des repères marqués à sa surface extérieure, le degré d'ouverture qu'on lui donnait pendant les expériences.

Le diamètre du grand arbre de couche de la forerie était trop petit pour que le frottement qu'on pouvait produire entre sa surface et les mâchoires du frein, fût toujours assez grand pour faire équilibre à l'effort que le moteur transmettait. Pour éviter la dépense d'un collier en métal qu'on y aurait monté, et la perte de temps, nous avons essayé de placer sur cet arbre deux freins, à peu de distance l'un de l'autre, et, dans les expériences où le moteur développait une quantité d'action qu'un seul n'aurait pas pu mesurer, on les employait simultanément. On a bientôt reconnu qu'il n'y a pas de

difficulté à les tenir à la fois en équilibre, et on a continué de s'en servir.

La machine à vapeur communique le mouvement à un grand arbre de couche qui porte des roues d'angle de renvoi, dont chacune engrène avec des pignons conducteurs des pièces. On peut désengrener à volonté ces pignons; mais l'arbre de couche marche toujours, et, comme nos freins étaient placés sur cet arbre, le frottement qui se produisait sur ses tourillons et entre la roue d'angle qui lui transmettait le mouvement, consommait une certaine quantité d'action ou de travail. Nous connaissions le poids de toutes les pièces et le nombre de dents de l'engrenage, et, par une marche analogue à celle que nous avons suivie dans les expériences faites sur les autres moteurs, nous avons trouvé que la résistance que ces frottemens opposaient au mouvement, équivalait à un accroissement constant de la charge du premier frein, égal à $11^k.50$. Il nous a donc suffi, pour en tenir compte, d'augmenter la charge constante de ce frein de cette quantité.

Nous avons obtenu la température, et par suite la pression dans le condenseur, à l'aide du thermomètre. Le nombre de tours du volant était observé avec une montre à secondes mortes, et n'était compté que quand la machine avait pris une marche bien régulière.

La quantité d'action ou de travail disponible nous était donnée par le frein ; l'effet utile total s'obtenait en y ajoutant la quantité de travail consommée par les frottemens, qui était égale à la surcharge constante de $11^{k}.50$, multipliée par la vitesse du crochet du premier frein.

Ce détail suffit pour l'intelligence du tableau suivant, qui donne le résultat des expériences. Nous ferons observer qu'il n'a pas dépendu de nous de déterminer directement la quantité de vapeur réellement introduite dans le petit cylindre, parce que nous ne connaissions pas le volume de l'eau d'injection, qui était aspirée directement dans le condenseur par son piston, et qui s'élevait d'une profondeur que les localités ne permettaient pas de mesurer exactement.

Expériences faites en novembre et décembre 1828

Numéros des expériences.	FORCE ÉLASTIQUE DE LA VAPEUR. DANS LA CHAUDIÈRE. Indiquée par le manomètre en livres par pouce carré.	DANS LA CHAUDIÈRE. RÉELLE. en kilogr. sur un centimètre carré.	DANS LA CHAUDIÈRE. RÉELLE. en atmosph.	DANS LE CONDENSEUR. en kilogr. sur un centimètre carré.	DANS LE CONDENSEUR. en atmosph.	Nombre des tours du volant en une minute.	Nombre de tours des arbres en une minute.	Effet théorique.
	Livres.	Kil.	Atm.	Kil.	Atm.			K.m
OUVERTURE TOTALE DU ROBINET								
1	24.5	3.09	2.99	0.046	0.045	23.07	11.32	1957
2	26.0	3.13	3.03	0.051	0.049	22.64	10.00	1938
3	25 5	3.15	3.05	0.072	0.070	21.05	9.33	1775
4	30.0	3.42	3.31	0.046	0.044	22.00	9.75	2076
5	29.0	3.15	3.05	0.046	0.044	24.00	10.63	2079
6	27.5	3.26	3.16	0.107	0.103	25.00	11.05	2107
7	35.5	3.74	3.62	0.107	0.103	22.00	9.75	2157
OUVERTURE DU ROBINET								
1	36.0	3.76	3.64	0.047	0.046	25.00	11.05	2607
2	35.0	3.70	3.58	0.047	0.046	24.00	10.63	2459
3	35.0	3.70	3.58	0.047	0.046	22.00	9.75	2254
4	27.0	3.23	3.13	0.041	0.040	22.50	9.97	2014
5	28.0	3.29	3.19	0.054	0.052	25.00	11.08	2252
6	26.5	3.20	3.10	0.045	0.044	26.00	11.52	2296
7	23.5	3.04	2.94	0.051	0.049	23.00	10.19	1907
8	21.5	2.91	2.82	0.047	0.046	25.50	11.31	1986
9	21.0	2.88	2.79	0.038	0.037	22.20	9.84	1771
10	20.0	2.82	2.73	0.044	0.043	26.00	11.56	2020
11	15.6	2.55	2.47	0.041	0.040	27.90	12.36	1948
12	15.6	2.55	2.47	0.044	0.043	24.50	10.85	1704

sur la machine à vapeur de la fonderie de Douai.

Numéros des freins.	CHARGE DES FREINS. Constante.	Variable.	Totale.	Vitesses que les crochets des freins tendaient à prendre.	Effet utile mesuré par les freins, ou quantité de travail disponible. par chaque frein.	par les 2 freins.	Quantité d'action ou de travail consommée par les frottem.	Effet utile total, ou quantité de travail transmise par le moteur. en kil. m.	en chev.	Rapport de l'effet utile total à l'effet théorique.
	Kil.	Kil.	Kil.	M.	K. m.	K. m.	K. m.	K. m.	Chev.	
D'ADMISSION = 0me.000306.										
1	60.90	95	155.90	2.38	371	581	27	608	8.1	0.36
2	38.62	50	88.62	2.37	210					
1	60.90	95	155.90	2.11	330	568	24	592	7.9	0.31
2	38.62	75	113.62	2.10	238					
1	60.90	105	165.90	1.96	325	595	23	618	8.2	0.35
2	38.62	100	138.62	1.95	270					
1	53.06	100	153.06	2.47	378	640	28	668	8.9	0.32
2	32.18	75	107.18	2.45	262					
1	53.06	75	128.06	2.69	345	631	31	662	8.8	0.32
2	32.18	75	107.18	2.67	286					
1	53.06	75	128.06	2.80	358	655	32	687	9.2	0.33
2	32.18	75	107.18	2.77	297					
1	53.06	100	153.06	2.47	378	701	28	729	9.7	0.33
2	32.18	100	132 06	2.45	323					
D'ADMISSION = 0me.000184.										
1	53.06	150	203.06	2.80	568	934	32	966	12.9	0.37
2	32.18	100	132.18	2.77	366					
1	53.06	75	128.06	2.69	345	631	31	662	8.8	0.27
2	32.18	75	107.18	2.67	286					
1	53.06	100	153.06	2.47	378	701	28	729	9.7	0.32
2	32.18	100	132.18	2.45	323					
1	53.06	75	128.06	2.52	323	591	29	620	8.2	0.30
2	32.18	75	107.18	2.50	268					
1	60.90	115	175.90	2.35	»	410	27	437	5.8	0.19
1	60.90	90	150.90	2.43	»	366	28	394	5.2	0.17
1	60.90	150	210.90	2.13	»	449	24	473	6.3	0.25
1	60.90	70	130.90	2.38	»	311	27	338	4.5	0.17
1	60.90	70	130.90	2.07	272	454	24	478	6.4	0.27
2	38.62	50	88.62	2.06	182					
1	60.90	50	110.90	2.44	»	270	28	298	4.0	0.14
1	38.62	25	63.62	2.58	»	164	30	194	2.6	0.10
1	60.90	»	60.90	2.28	139	284	26	310	4.0	0.18
2	38.62	25	63.62	2.27	145					

On voit, par ce tableau, qu'il règne un accord assez satisfaisant dans les résultats des expériences relatives aux ouvertures totales du robinet d'admission, et que, malgré les variations de la vitesse, l'effet utile total de la machine s'écarte fort peu de 0,33 de l'effet théorique. Nous avons vu précédemment qu'avec une pression de $3^{atm.}$,05 dans la chaudière, et une ouverture totale du robinet d'admission, la machine marchant à 24 tours de volant par minute, la quantité de vapeur qui s'écoulerait par cet orifice suffirait pour maintenir dans le petit cylindre une pression égale à $\frac{1}{10}$ près à celle de la production, en faisant abstraction du jeu des tiroirs. Ce cas étant, soit pour la pression, soit pour la vitesse, à peu près intermédiaire entre les données de nos expériences, on peut en induire de suite, et le calcul confirme que, même pour des vitesses assez différentes, cet orifice suffirait pour alimenter le cylindre de vapeur à une pression très-voisine de la production; et, comme la marche du tiroir est proportionnée à la vitesse du volant, on voit que, pour des pressions voisines de trois atmosphères ou un peu supérieure, la pression moyenne dans le petit cylindre doit se trouver dans un rapport à peu près constant avec celle de la production. C'est ce que l'expérience confirme en nous donnant sensiblement le même rapport de l'effet utile total à l'effet théorique.

Il n'en est pas de même, à beaucoup près, dans les expériences relatives à une ouverture du robinet d'admission, qui était de $0^m,000184$; mais cela n'implique pas du tout contradiction avec les résultats précédens. En effet, nous rappelerons que la valeur de la pression moyenne dans le petit cylindre, quand on fait abstraction des tiroirs, est donnée par l'expression

$$p'' = -\frac{\left(\frac{(100)^2 Amapt_{,}}{sl}\right)^2}{2} + \sqrt{\frac{\left(\frac{(100)^2 Amapt_{,}}{sl}\right)^4}{4} + \left(\frac{(100)^2 Amapt_{,}}{sl}\right)^2 p}$$

et proportionnelle au facteur,

$$\frac{(100)^2 Amapt_{,}}{sl},$$

c'est-à-dire, à la surface a du robinet d'admission, au temps t de la course totale, et, en prenant la valeur rationelle et approximative du radical, son premier terme détruit à très-peu près celui qui est en dehors de ce signe, et la valeur finale de p'' reste proportionnelle à la puissance $\frac{1}{2}$ de la pression p de la production.

Il n'est donc pas étonnant que quand l'orifice, la pression de la production, et le temps de la course diminuent, la pression dans le petit cylindre, et par suite la quantité d'action trans-

mise diminuent rapidement. Il faut d'ailleurs observer que la formule théorique que nous avons employée, supposait l'orifice du robinet assez grand pour entretenir dans le petit cylindre une pression sensiblement constante, quelle que fût la vitesse de la machine et abstraction faite de l'influence du jeu des tiroirs, et que la modification que nous y avons introduite ne portait que sur l'action de ces dernières pièces. Cette formule modifiée ne convient donc plus à ces dernières expériences, et il faudrait, par des calculs analogues à ceux que nous avons donnés pour la pression de $3^{atm}.05$, chercher la valeur de p'' qui résulterait de l'orifice de $0^{m},000184$, des pressions de la production; et de la vitesse du piston, puis y introduire l'effet du jeu des tiroirs. On arriverait ainsi à une formule qui donnerait des résultats, dont le rapport avec ceux de l'expérience serait plus uniforme. Nous n'entrerons pas dans le détail de ces calculs parce que, notre but principal était de déterminer la force de la machine travaillant à ouverture totale.

Il est assez remarquable que la force nominative de 12 chevaux, pour laquelle la machine a été vendue, n'ait pas pu être obtenue avec une ouverture totale du robinet d'admission, tandis qu'on l'a obtenue avec une ouverture moindre. Cette singularité signale un défaut de proportion dans la chaudière, qui n'a jamais pu fournir de la

vapeur à trois atmosphères et demi, en quantité suffisante pour faire marcher la machine à une vitesse supérieure à 22 tours du volant, quelle que bonne que fût la houille, et quelque attention qu'on apportât à la conduite du feu. Lorsque l'orifice était plus petit, la pression pouvait être soutenue à $3^{atm}\cdot 64$, quoique la machine marchât plus vite, et l'on a obtenu, dans ce cas, la force de 12,9 chevaux-vapeur. Cela tient, comme il serait facile de s'en assurer, à ce que l'orifice de $0^m,000184$ aurait suffi, abstraction faite du jeu des tiroirs, à la pression de $3^{atm}\cdot 64$, pour alimenter le petit cylindre de vapeur sensiblement à la même pression, et que dans sa marche progressive, le tiroir a plutôt démasqué un orifice d'introduction égal à $0^m,000184$, ce qui augmente la portion de la course pendant laquelle le piston peut être regardé comme recevant la vapeur en plein. On voit d'ailleurs qu'il suffirait de chauffer à la fois les deux chaudières, pour obtenir facilement à $3^{atm}\cdot 50$ une force de 12 chevaux et plus, sans surcharger la machine. Ainsi on doit admettre qu'elle donne réellement la force pour laquelle elle a été vendue, mais, pour l'obtenir sans pousser le feu de manière à ce qu'un ralentissement imprévu dans sa marche offrît des inconvéniens, il faudrait se servir des deux chaudières à la fois; c'est ce qui ne nous a pas été possible pendant les expériences, parce qu'alors

une des chaudières était en grande réparation.

L'examen des résultats consignés dans la seconde série d'expériences, nous montre que le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique décroît rapidement à des pressions au-dessous de trois atmosphères, quand la vitesse de la machine augmente; mais cela tient à ce qu'à ces pressions, l'orifice de $0^m000184$ n'est plus assez grand pour alimenter le cylindre.

La vitesse de 22 tours du volant par minute correspond à 9,75 tours des bouches à feu, et à une course de 0^m80 par seconde du piston de la machine. Ces vitesses sont à peu près celles qui conviennent le mieux pour le travail du forage et pour le moteur.

Après nous être assuré que la machine peut fournir la force de 12 chevaux pour laquelle elle a été vendue, il convient d'examiner le rapport de la quantité d'action transmise, à la dépense de combustible. La première chose à faire était de chercher la quantité de vapeur produite par un kilogramme de houille. Pour l'obtenir d'une manière sûre, on a profité d'un jour de chômage pour jauger la chaudière, en y introduisant des volumes d'eau déterminés, et en observant les élévations correspondantes de la tige du flotteur, à laquelle on avait laissé assez de liberté dans sa boîte à étoupes pour qu'elle pût suivre la marche du niveau. On s'est fait ainsi une échelle de jaugeage,

et pendant plusieurs jours on a observé avec soin, et un grand nombre de fois, les quantités d'eau évaporées pendant des espaces de temps aussi longs qu'il était possible, et qui étaient ordinairement d'une demi-heure, en suspendant l'alimentation. On s'est procuré de la sorte des résultats qui se sont accordés pour indiquer qu'avec le charbon-de-terre d'Aniche employé en morceaux, sans poussiere, on ne pouvait produire plus de 5 à 6 kilogrammes de vapeur par kilogramme de charbon brûlé, tandis qu'avec du charbon de frêne, qui donnait beaucoup de flamme, on a obtenu de 7^k à $7^k 50$ de vapeur par kilogramme de combustible. Comme les qualités de charbon varient, qu'il y en a quelquefois de menu à brûler, nous prendrons pour la production moyenne de cette chaudière $6^k.50$ de vapeur par kilogramme de charbon brûlé; c'est d'ailleurs le résultat ordinaire avec du bon charbon.

Dans la cinquième expérience, avec ouverture totale du robinet d'admission, la pression de la vapeur était de $3^{atm}.05$ $p = 3^k.153$ par centimètre carré, ce qui correspond à une densité de $1^k.6332$ (poids du mètre cube). Le volume de vapeur à la pression p, introduit dans une seconde dans le petit cylindre, était

$$\frac{n}{30} \cdot \frac{V}{2} = \frac{4}{5} \cdot \frac{0^{m.c.}.075}{2} = 0^{m.c.}.030,$$

à cause de $n = 24$ et $V = 0^{m.c.}.075$; son poids étant de

$$0^{m.c.}.030 \times 1^{k}.6332 = 0^{k}.048996,$$

par conséquent la dépense du combustible était de

$$\frac{0^{k}.048996}{6.5} = 0^{k}.00753.$$

L'effet utile dans une seconde ayant été trouvé égal à

$$662^{k.m.},$$

on voit que cette machine fournit par kilogramme de charbon brûlé une quantité d'action égale à

$$\frac{662^{k.m.}}{0^{m}.00753} = 87915^{k.m.}.$$

Ce résultat revient, comme il est facile de s'en assurer, à une consommation de 3 kilogrammes de charbon par force de cheval et par heure, pendant la marche de la machine.

Les autres expériences à ouverture totale étant dans le même rapport que la précédente avec la formule théorique, on arriverait à des résultats analogues. Quant à celle où l'on a obtenu la force de douze chevaux, nous avons vu que la dépense de vapeur, à la pression de la production, devait y être, pour chaque course, un peu plus grande que la moitié du volume, quoique

l'orifice fût plus petit, parce que la pression était forte. Il y a donc lieu d'admettre encore le même résultat, et il serait aisé de s'en assurer par le calcul, en suivant la marche que nous avons prise pour la cinquième expérience.

Ainsi la machine de Douai fournit la force de douze chevaux de 75^k., élevés à 1^m. par seconde, et consomme environ 3^k. de bon charbon par force de cheval et par heure, pendant son travail. D'après le compte rendu de la régie en 1827, elle a consommé pour deux cent soixante-quinze journées de travail, de quatorze heures chacune, 1887.50 hectolitres de houille, dont le poids moyen n'est guère que de 80^k. l'hectolitre. Ce qui donne une consommation de 545^k.4 par jour, ou de 38^k.95 par heure de travail. Si nous admettons que la quantité d'action transmise aux quatre bancs n'excède pas moyennement huit chevaux, comme nous l'avons fait pour la fonderie de Toulouse, la consommation moyenne par force de cheval et par heure serait de 4^k.87. Ce résultat est beaucoup plus fort que celui que nous avons déduit du calcul de la machine, mais il comprend la consommation de charbon nécessaire pour échauffer la chaudière à chaque reprise de travail, et les pertes de vapeur. Il faut de plus observer que dans nos expériences nous avions du charbon de choix en morceaux et sans poussière. C'est dans ces circonstances que les

constructeurs promettent la force d'un cheval par 3k, de charbon brûlé par heure, et ils font abstraction de la première dépense pour la mise en train. Il n'est d'ailleurs pas étonnant que quand la machine travaille sous des résistances inégales, et que sa force varie depuis dix ou douze chevaux jusqu'au-dessous de cinq ou six, sa consommation soit plus grande que si son travail était régulier. Toutefois, cette machine ne fournissant que le tiers de l'effet théorique, tandis que d'autres, comme celle du Gros-Caillou, en donnent la moitié, on voit qu'elle est assez défectueuse, ce qui tient sans doute à ce que la détente y est poussée jusqu'à $\frac{1}{9}$ de la tension de la production.

Nous ne parlerions pas d'un défaut que la machine de Douai offrait en 1828, et qui a été corrigé en partie d'une manière très-simple, s'il n'était pas utile de le signaler, parce qu'il peut se présenter dans d'autres usines. Lorsque les eaux que l'on destine à l'injection sont à une petite profondeur au-dessous du sol de la machine, à 6 ou 8 mètres, par exemple, on économise les frais de construction et la perte de force qu'occasione la pompe alimentaire, en faisant aspirer l'eau d'injection par le piston même du condenseur, au moyen d'un tuyau qui y débouche, et dont on règle l'ouverture par un robinet. Cette méthode est très-convenable lors-

que le travail de la machine doit être régulier, mais quand il se présente souvent de grandes variations dans la résistance, il en résulte des inconvéniens qui peuvent devenir très-graves. Nous en citerons un exemple qui a été observé plusieurs fois à Douai. Le forage des mortiers, et particulièrement de la chambre conique du mortier à la Gomer, où le couteau mord à la fois sur une grande longueur, exige une quantité d'action beaucoup plus considérable que les opérations ordinaires. Le chauffeur, qui en est prévenu, pousse son feu en conséquence pour tenir la vapeur à $3^{atm}.50$ environ. Lorsque le travail est en train, si le foreur fait un peu trop mordre son foret, et que les autres pièces montées sur les bancs exigent aussi une grande force, la marche n'est plus assez puissante, son mouvement se ralentit, quoique le robinet d'admission s'ouvre tout-à-fait; l'aspiration de l'eau dans le condenseur se fait encore rapidement, il en arrive une plus petite quantité qui, se mêlant avec de la vapeur à une température élevée, s'échauffe et s'élève rapidement à 100°. Dès lors elle acquiert une force élastique égale à la pression atmosphérique, et fait cesser l'aspiration; il n'y a plus de condensation et la machine s'arrête. Il faut moins de deux minutes pour que cet accident arrive, et alors la vapeur formée en grande abondance n'a d'issue que par les soupapes de

sûreté, et l'on conçoit que, si par malheur elles étaient entravées dans leur marche, il en résulterait une explosion.

Jusqu'en 1828, la bâche, ou plutôt le tuyau d'évacuation de l'eau de condensation, ne permettait pas de donner au robinet du tuyau d'injection toute l'ouverture possible, parce que l'eau du condenseur débordait dans la machine, et l'accident dont nous venons de parler se produisait souvent. On a réussi à l'éviter, en augmentant le diamètre de ce tuyau d'évacuation, ce qui permet l'admission d'une plus grande quantité d'eau froide dans le condenseur, et rend par conséquent son échauffement plus difficile. Il paraît que ce moyen a suffi jusqu'ici, et l'on a évité, en l'employant, des dépenses et surtout des chômages; mais, dans l'établissement d'une nouvelle machine exposée à des variations analogues dans la résistance, il vaudrait peut-être mieux revenir à l'emploi d'une pompe à eau froide, qui élèverait, dans un réservoir un peu plus élevé que le condenseur, une quantité d'eau toujours suffisante pour l'injection, qui alors ne serait jamais interrompue.

Il ne nous reste plus qu'à rechercher quel est dans cette usine le prix de la force de cheval-vapeur transmise par le moteur, comme nous l'avons fait pour les deux autres fonderies. D'après des renseignemens qui nous ont été fournis

à Douai, le compte du capital d'établissement du moteur seul, abstraction faite des bancs de forerie, peut s'établir ainsi qu'il suit :

Une machine à vapeur de la force de douze chevaux à moyenne pression, du système d'Edwards, son foyer complet, soupape de sûreté, flotteur, tuyaux, etc. .	25000fr.	00
Une chaudière complète de rechange, avec ses bouilleurs et son foyer, etc.	5991	70
Communications de mouvement et débrayage.	23553	37
Montage de la machine à vapeur, et des communications de mouvement.	3333	72
Capital.	57878	79

Dépenses annuelles.

Intérêt du capital à 5 pour 100.	2893	93
D'après le compte rendu de la régie en 1827, les consommations pour service ordinaire, entretien et réparations de la machine à vapeur, sont montées à.	5100	85
Elle a employé, en journées de chauffeur et de mécanicien.	1647	10
En journées de réparations.	583	00
Total des dépenses annuelles.	10224	90

Elle a fourni 275 journées de travail de 14 heures chacune, ce qui met le prix de la journée de 12 heures à 31 fr. 86 c., et si nous admettons que moyennement elle n'a fourni que la force

de huit chevaux-vapeur, par suite des inégalités du travail, il en résulte que dans cette usine la force de cheval-vapeur de 75 kil., élevés à un mètre en une seconde, revient à 3 fr. 98 c.

En rapprochant ce résultat de ceux que nous avons obtenus sur les autres fonderies, nous voyons que la force du cheval-vapeur de 75 kil. m. transmise aux bancs de forerie, quand elle est fournie par

Un manége, comme à Strasbourg, revient à.	9 fr.	15 c.
Une machine à vapeur, comme à Douai, à.	3	98
Une roue hydraulique, comme à Toulouse, à.	1	78

Toute question d'industrie se réduisant finalement à une question d'argent, quand d'ailleurs la qualité des produits est la même, comme cela paraît être ici le cas, les résultats ci-dessus suffisent pour décider de la préférence à accorder à l'eau sur les deux autres moteurs, et à la vapeur sur les chevaux.

Ici se termine la partie de ce rapport qui a pour objet de rendre compte des expériences que j'ai eu la facilité de faire sur les différens moteurs. La brièveté de mon séjour dans chacune des fonderies ne m'a pas permis de recueillir assez d'observations pour déterminer la quantité d'action ou de travail qui est dépensée dans les principales opérations du forage et du tournage des pièces. Les commandes de chaque

année sont bornées à un petit nombre de calibres, et il faut pouvoir suivre avec soin la fabrication pendant un temps assez long, pour rassembler dans une même fonderie des renseignemens sur les différens calibres; c'est ce qu'il ne m'a pas été possible de faire moi-même; mais la bienveillance que j'ai trouvée dans MM. les officiers employés dans les fonderies me fait espérer que je pourrai, dans la suite, réunir assez d'observations pour arriver à des résultats pratiques.

NOTE

SUR UNE CONSTRUCTION GRAPHIQUE

DES TABLES DE LOMBARD,

PROPOSÉE

PAR M. BELLENCONTRE,

CHEF D'ESCADRON D'ARTILLERIE.

Toute relation entre des quantités, écrite algébriquement, devient une formule. Pour la commodité de la pratique, on réduit les formules en tables, ne contenant que des résultats numériques; cette méthode, imitée des astronomes, proposée et essayée par Euler sur les trajectoires dans l'air, a été depuis développée et perfectionnée par Lombard; le premier, il a su choisir des données appropriées aux limites, aux besoins spéciaux du service de l'artillerie. On peut encore ramener les formules à de simples tracés, les représenter par des lignes droites ou courbes, à l'aide de constructions graphiques. Ce procédé, depuis longtemps en usage dans la physique expérimentale, a été récemment employé par M. d'Obenheim, pour donner une exhibition graphique de toutes les formules fondamentales de la balistique. Les

deux méthodes, numérique et graphique, reposent sur le même principe. Supposons, pour simplifier la question, qu'il ne s'agisse d'abord que d'une formule énonçant une relation entre deux quantités variables : faisant croître une quelconque de ces variables suivant une loi simple, par exemple, suivant une progression arithmétique, et rangeant les termes sur une colonne verticale, calculant et inscrivant vis-à-vis les valeurs correspondantes, on formera ainsi une table à une seule entrée; cette table sera d'autant plus utile, qu'elle sera plus étendue et que la raison de la progression arithmétique sera plus petite. Les tables de conversion des mesures les unes dans les autres sont des tables à une entrée. Maintenant, si l'on prend une droite de longueur déterminée pour unité, on pourra considérer tous les nombres de la table comme autant de lignes, abscisses et ordonnées, du lieu géométrique de la formule qui a servi à la formation de la table. C'est ainsi que les tables de conversion, ci-dessus mentionnées, seraient représentées par des droites.

Si la formule renferme trois variables, on procède d'une manière analogue : on choisit deux quelconques de ces variables pour les faire croître en progression arithmétique. On écrit une progression en colonne verticale, et l'autre sur une ligne horizontale, vis-à-vis de chaque terme de la première, et au-dessus de chaque terme de la se-

conde on inscrit la valeur de la troisième variable correspondante à ces deux termes. On obtient ainsi une table à double entrée; celle de Pythagore est la plus connue en ce genre. On peut de même traduire tous les nombres en lignes, en choisissant arbitrairement une unité linéaire. Trois nombres conjugués de la table deviennent les coordonnées d'un point situé dans l'espace; la réunion de tous les points ainsi construits donne la surface, lieu géométrique de la relation; c'est ainsi que la surface, lieu géométrique de la table de Pythagore, est un hyperboloïde à une nappe. Mais, comme il est nécessaire de pouvoir figurer toutes les surfaces sur un plan, on a imaginé de les couper par une série de plans horizontaux, peu distans les uns des autres; faisant les projections horizontales des sections, et écrivant à côté la cote verticale y relative, on aura évidemment une représentation de la surface, d'autant plus fidèle que les cotes seront plus rapprochées, et à l'aide de ces projections on pourra obtenir toute autre section faite dans la surface par un plan quelconque. C'est cette méthode que M. d'Obenheim a adoptée pour représenter les lignes et surfaces balistiques, dont il a calculé les équations dans ses traités de balistique. M. le chef d'escadron Bellencontre a suivi la même méthode pour représenter les lignes et surfaces balistiques correspondant aux équations qui ont

servi à la formation des tables de Lombard. La difficulté, dans ce genre d'opérations, consiste à savoir choisir les lignes et les surfaces les plus simples, en moindre nombre possible, et les plus propres à résoudre les questions fondamentales; ensuite à prendre pour chacune une unité linéaire, une échelle telle que toutes puissent être facilement renfermées dans le plus petit espace, sans confusion, et avec une exactitude suffisante; c'est ce que M. Bellencontre a exécuté pour la planchette de Lombard que nous allons décrire succinctement.

La planchette peut servir à treize bouches à feu, savoir :

Huit canons: 24, 16, 12 long, 12 court, 8 long, 8 court, 4 long, 4 court; cinq obusiers : 8° ancien, 8° nouveau, 6° ancien, 6° nouveau, et 24.

Limites de l'angle de tir, 0°. à 16°.

— *Id.* — des distances, 50 à 800 toises.

La planchette est un carré de 16 centimètres de côté; elle est divisée par des lignes horizontales et verticales en 16 fois 16 ou 256 carrés d'un centimètre de côté; chaque centimètre est de nouveau divisé en 10 millimètres.

On a tracé sur la planchette cinq systèmes de lignes.

1°. Lignes de relation entre les charges et les vitesses initiales; la poudre donnant 125 toises de portée à l'éprouvette.

Si la poudre a donné à l'éprouvette une autre portée que 125 toises, on la ramène à celle-ci par la proportion connue. On n'a pas donné, faute d'expériences suffisantes, les courbes de charge pour les obusiers nouveau modèle; on a toutefois consigné à la fin du Mémoire les résultats de quelques épreuves faites à Strasbourg sur ces bouches à feu.

2°. Lignes de relation entre les degrés d'angles de mire et les pouces de hausse.

3°. Courbes de relation entre les vitesses initiales et les angles de mire, pour le calibre de 12.

Distances de 50 en 50 toises, depuis 50 toises jusqu'à 800.

Une table contient les distances auxquelles conviennent les courbes des vitesses initiales pour des calibres autres que la pièce de 12. Ces courbes, combinées avec les lignes précédentes, servent à résoudre toutes les questions qu'on peut proposer sur les charges, sur les vitesses initiales, sur les angles de mire, et sur les distances ou portées horizontales.

4°. Lignes de relation entre les vitesses initiales et les vitesses restantes.

C'est un système de droites relatives à la pièce de 12, et aux distances de 50 en 50 toises, depuis 50 jusqu'à 800.

Une autre table indique les distances auxquelles ces lignes conviennent aux différens calibres.

5°. Lignes de correction.

M. Bellencontre, par l'introduction d'un multiplicateur, a rendu plus rigoureuse la formule dont Lombard s'est servi pour calculer les relations entre les vitesses initiales et les angles de mire.

Les courbes de correction sont relatives aux corrections qu'il convient de faire aux résultats de Lombard, lorsqu'on vise à une plus grande précision.

L'auteur résout, à l'aide de cette planchette, neuf questions, les plus importantes et les plus usuelles de la balistique; les deux dernières sont relatives au ricochet, et nécessitent l'emploi des tangentes des angles de 0°. à 3°. Ces tangentes sont consignées dans une troisième table.

On a jugé que ce Mémoire méritait d'être connu des officiers; et incessamment on en enverra dans les écoles une copie lithographiée.

NOTE

SUR L'INFLAMMATION SPONTANÉE DES CHARBONS PULVÉRISÉS;

PAR M. AUBERT,

COLONEL D'ARTILLERIE.

Dans différentes circonstances il s'était manifesté, dans les poudreries, des inflammations spontanées de charbon, le plus ordinairement au moment où cette substance, mise en morceaux, était brisée par les premiers coups de pilon. Cependant, des inflammations spontanées de charbon pulvérisé avaient aussi eu lieu en 1802 à la poudrerie d'Essonne; en 1824 à celle du Bouchet, et en 1825 à celle d'Esquerdes. Ce phénomène s'étant renouvelé à la poudrerie de Metz en 1828, et de semblables inflammations pouvant occasioner les accidens les plus graves, on crut utile de faire toutes les recherches et tous les essais nécessaires pour en découvrir les causes, et pour constater les circonstances les plus propres à en déterminer la reproduction.

La note suivante, qu'il a semblé utile de porter, par la voie du Mémorial, à la connaissance

de MM. les officiers d'artillerie, fait connaître avec détail les circonstances de l'inflammation spontanée qui s'est manifestée à Metz, et les essais entrepris pour éclaircir cette question.

La poudrerie avait été chargée de préparer du charbon très-divisé pour les besoins de l'école de pyrotechnie ; le travail en fut commencé le 31 mars 1828; le charbon fut fait par voie de distillation avec du bois de bourdaine bien sec, et l'opération fut dirigée de manière à retirer 25 kil. de charbon, de 100 kil. de bois. Vingt-quatre heures seulement après sa confection, le charbon fut pesé, et trituré ensuite pendant cinq heures, avec des gobilles de bronze de 7 à 10 millimètres de diamètre, dans des tonnes en cuir de 1^{m},00 de diamètre sur 1^{m},15 de hauteur, faisant trente révolutions par minute. Chaque tonne ne renfermait d'abord que 10 kil. de charbon, et le poids des gobilles s'élevait à 35 kil.; mais le charbon contenant, après sa trituration, beaucoup de parcelles de bronze, on réduisit le poids des gobilles à 25 kil., et la durée de la trituration à trois heures. Le charbon pulvérisé dans une opération était étendu dans une maie tout le temps d'une nouvelle trituration, et on le mettait ensuite dans des futailles. On devait d'autant moins craindre l'inflammation spontanée du charbon, que depuis plus de six ans qu'on le triturait ainsi, réuni au soufre, rien n'avait pu

faire présager un semblable accident, et que l'on avait d'ailleurs constaté que, dans les lissoirs et dans les tonnes de trituration, la température ne s'élevait jamais de plus de 25 à 30 degrés centigrades au-dessus de celle de l'atelier.

Cependant, le 3 avril au matin, on s'aperçut que 80 kil. de charbon pulvérisé la veille, et mis dans une futaille, s'étaient enflammés spontanément.

Une nouvelle opération eut un semblable résultat. 80 kilogrammes de charbon, produit de la trituration d'une journée, avaient été mis dans deux barils qui en contenaient chacun 40 kil. Le lendemain de la trituration, le feu se manifesta dans le baril où l'on avait réuni le charbon trituré dans la première partie de la journée; l'autre baril, quoique placé à côté du premier, s'échauffa graduellement, mais ne s'enflamma pas. On reconnut que le charbon contenait 6 millièmes de bronze. Il est à remarquer que le charbon, pulvérisé par le procédé qui vient d'être décrit, est excessivement divisé; il a l'apparence d'un liquide onctueux, et occupe un espace trois fois plus petit qu'en bâtons de 15 à 16 centimètres de longueur.

Dans les expériences qui furent entreprises par suite de cet événement, dans le but d'en étudier les circonstances et d'en rechercher les causes, on se proposa d'abord de déterminer

l'influence du mode de carbonisation sur l'inflammation spontanée du charbon du bois de bourdaine. Les tonnes de trituration n'étant qu'au nombre de deux, on ne put opérer en même temps que sur deux espèces de charbons différentes. L'un de ces charbons avait été fortement distillé en vaisseaux clos, et était noir; 100 kil. de bois très-sec en avaient fourni seulement 25 kil. L'autre charbon avait été fait en vases ouverts, dans des chaudières de fonte. Toutes les autres circonstances furent scrupuleusement conservées les mêmes. Comme dans l'opération précédemment décrite, la trituration fut faite à l'aide de gobilles de bronze pesant deux fois et demie le poids du charbon, dans des tonnes faisant trente tours par minute; elle dura trois heures consécutives. Le charbon ne fut soumis à cette trituration que quarante-huit heures après sa confection. Comme on ne pouvait triturer à la fois que 13 à 14 kil. de charbon dans chaque tonne, et qu'il en fallait au moins quarante pour déterminer l'inflammation spontanée, on fut obligé de faire trois triturations pour chaque espèce de charbon. Les produits, à mesure qu'ils étaient obtenus, étaient mis séparément dans des futailles de 1 hectol.,6 de capacité, placées l'une à côté de l'autre et recouvertes d'une toile. Pendant la trituration, la température s'éleva également dans les deux tonnes, au-dessus de celle

de l'atelier; cette élévation fut de 15 degrés pour le premier chargement de charbon, de 20 pour le deuxième, et de 24 pour le troisième.

Les deux futailles ayant reçu chacune 42 kilogrammes de charbon, elles furent fermées avec un couvercle en bois percé de deux trous, l'un au centre et l'autre vers le bord, pour introduire des thermomètres dans le charbon, et en prendre la température. Depuis la fin de la carbonisation, jusqu'au moment de la mise du charbon dans les futailles, il s'était écoulé environ 60 heures. La température du charbon fut observée fréquemment; elle s'éleva à son maximum, au centre des futailles en seize à dix-huit heures; savoir: pour le charbon distillé, à 41 degrés au-dessus de celle de l'atelier qui était de 12 degrés, et pour l'autre charbon, à 28 degrés; mais il n'y eut pas d'inflammation, ce qui semble pouvoir être attribué à ce que les futailles avaient été trop bien fermées, ce qui n'avait pas permis un libre accès à l'air.

En effet, une nouvelle opération tout-à-fait semblable à la première, si ce n'est que l'air se renouvelait plus facilement dans les futailles, fut suivie de l'inflammation du charbon distillé. Voici la marche de l'échauffement dans chacune des futailles. La température de l'atelier était de 11 degrés et l'humidité de 96 degrés de Saussure.

TEMPS.	TEMPÉRATURE DU CHARBON fortement distillé.	TEMPÉRATURE DU CHARBON fait dans des chaudières ouvertes.
31 mars, à 7 h. du soir, 2 heures après la trituration.. . .	40 degrés.	30 degrés.
1er avril, à 6 h. du matin. . .	70	40
à midi.	75	47
à 4 h. un quart. . .	Inflammation.	47

L'échauffement, d'abord très-lent, devint très-rapide depuis midi jusqu'au moment de l'inflammation, pour le charbon distillé. Vers quatre heures, on aperçut une fumée qui se dégageait du centre de la tonne, mais surtout de l'enfoncement laissé libre par le thermomètre, qu'on avait retiré à midi. Elle augmenta d'intensité jusqu'au moment de l'inflammation, qui se manifesta dans l'enfoncement, à 5 centimètres au-dessous de la surface du charbon; de là, l'inflammation se propagea avec vivacité jusqu'à 10 centimètres des douves, où la température était de 43 degrés. En inclinant la futaille, il en tomba une couche de charbon de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, de laquelle s'élançaient de longs jets de feu, et le reste du charbon ne présenta plus d'apparence d'incandescence. Après l'avoir remué, on pouvait y tenir la main; mais à 6 heures la température était déjà très-élevée, et le lendemain, à 8 heures

du matin, on trouva le charbon embrasé, quoique la nuit eût été très-froide.

Le charbon fait dans des chaudières ne s'enflamma pas; sa température ne s'éleva pas au-delà de 47 degrés.

Pendant la trituration du charbon, l'air des tonnes n'éprouva pas d'altération; il ne précipitait pas l'eau de chaux, et ne contenait pas, par conséquent, d'acide carbonique. Cent parties d'air, dans lesquelles on tint un bâton de phosphore pendant trois jours, laissèrent un résidu moyen de 81,3; résultat qui diffère peu de celui qu'on obtient avec l'air atmosphérique.

Un échantillon de 25 grammes de chacun des charbons pulvérisés fut mis, en sortant des tonnes, dans une capsule, sous une cloche pleine d'air et reposant sur l'eau. Dans l'espace de trois jours, le charbon distillé avait diminué le volume de l'air, de 146 centimètres cubes, et avait reçu une augmentation de poids de 1 gramme et demi; le charbon des chaudières avait absorbé 125 centimètres cubes d'air, et avait augmenté de 1, 3 grammes. La température de l'air, à la fin de l'expérience, était de 7 degrés.

Ayant ainsi reconnu que le mode de carbonisation avait une grande influence sur l'inflammation spontanée du charbon, on mit en expérience du charbon distillé noir et du charbon distillé roux, en conservant les mêmes circon-

stances de préparation que dans les expériences précédentes. Les deux futailles contenant le charbon restèrent découvertes; l'inflammation se manifesta dans chacune d'elles presqu'en même temps, à peu près 26 heures après la pulvérisation (avant l'inflammation le thermomètre avait marqué 120). Le feu parut d'abord, comme précédemment, dans le trou fait par le thermomètre.

Une nouvelle expérience, avec des charbons semblables et parfaitement préparés, ne fut pas suivie d'inflammation; la température des charbons ne dépassa pas 50 degrés, mais il s'était écoulé 24 heures de plus entre la confection et la trituration de la moitié des charbons; aussi leur pouvoir absorbant sous des cloches remplies d'air s'est-il trouvé bien moindre qu'à l'ordinaire.

La masse des charbons a aussi une très-grande influence sur leur inflammation. Le charbon des chaudières qui, sous un poids de 42 kil., ne s'était échauffé que jusqu'à 47 degrés, s'enflamma en masse double, 22 heures après la pulvérisation. Une heure et demie avant l'inflammation, le thermomètre s'était élevé jusqu'à 170 degrés; la température du charbon, prise par un trou latéral, à 15 centimètres du fond de la futaille, fut trouvée de 37 degrés, à peu près la même qu'au sortir des tonnes de trituration; la température, observée par un trou percé à la moitié de la hauteur du

charbon, était de 55 degrés. L'augmentation de poids éprouvée par les 84 kil. de charbon, depuis le moment de sa mise dans la futaille, jusqu'à celui de son inflammation, ne fut que de 280 grammes; mais il est à remarquer qu'il n'y a qu'une petite quantité de charbon, le centre de la couche supérieure, qui ait participé à l'inflammation. Une capsule remplie d'eau de chaux, placée sur le charbon, près des parois de la futaille, n'indiqua pas la formation d'acide carbonique avant l'inflammation.

L'absorption de l'air par le charbon, paraissant être la véritable cause de l'échauffement du charbon; et par suite de son inflammation spontanée, on voulut mettre ce fait hors de doute. A cet effet, on prit deux quantités égales de charbon fortement distillé, chacune de 45 kil.; l'une fut mise dans une futaille sans couvercle, et l'autre dans une futaille fermée par deux doubles de toile pressés par un couvercle en bois chargé de poids. Le charbon découvert s'enflamma en 18 heures, tandis que la température de l'autre ne s'éleva que de 8 degrés au-dessus de celle qu'il avait au moment où il avait été mis en futaille; 25 grammes de charbon pris dans les tonnes de trituration, à la fin d'une opération, absorbèrent 129 centimètres cubes d'air en 9 jours, et augmentèrent de 1,50 gramme. Les $\frac{2}{3}$ de cette augmentation doivent être attribués à l'eau; car

les 129 centimètres d'air ne pèsent qu'environ deux décigrammes. L'air restant dans la cloche sous laquelle avait été placé le charbon, n'avait éprouvé aucune altération.

Comme on avait déjà remarqué que le charbon ne s'enflammait pas, si on laissait écouler trop de temps entre la carbonisation et la trituration, on prépara 91 kil. de charbon fortement distillé, on le laissa séjourner 5 à 6 jours dans des futailles avant de le triturer, et immédiatement après la trituration, on le divisa en trois parties de 45, 31, et 15 kilogrammes, que l'on mit dans des futailles proportionnées. Aucun de ces charbons ne s'enflamma; la température de la plus grande masse ne s'éleva qu'à 55 degrés, et celle des deux autres qu'à environ 40 (la température initiale du charbon était de 33 degrés). Une masse de 30 kil. de charbon distillé, trituré environ 24 heures après la carbonisation, s'enflamma au bout de 12 heures, dans une grande futaille où elle avait été mise sans aucune appréhension d'inflammation, vu la faiblesse de cette masse.

D'après ces résultats, il parut intéressant de mieux constater que des charbons s'enflammaient d'autant plus promptement qu'ils étaient plus récens, et de voir quelle était la quantité *minimum* de charbon nécessaire pour déterminer l'inflammation.

Quatre-vingt-dix kilogrammes de charbon,

triturés de 24 à 30 heures après la distillation, furent partagés en trois masses de 47, 30, et 15 kilogrammes. L'inflammation se manifesta dans la première neuf heures après la trituration, et dans la seconde, dix heures et demie; la troisième ne s'enflamma point; sa température s'éleva seulement à 52 degrés. Il faut par conséquent une masse de plus de 15 kil. de charbon, pour que l'inflammation se produise spontanément.

Dans une autre expérience dans laquelle 60 kil. de charbon distillé avaient été déposés dans une tonne quinze heures après la distillation, l'inflammation eut lieu au bout de dix heures. C'est à la profondeur de 15 à 16 centimètres au-dessous de la surface du charbon, que la température s'est trouvée la plus élevée.

Le charbon non pulvérisé possède encore un pouvoir absorbant, long-temps après sa confection. Un kilog. de charbon distillé, placé dans un boisseau, vingt-quatre heures après sa confection, augmenta en huit jours de soixante-sept grammes; le charbon fait dans des chaudières augmenta seulement de 45 grammes. Ces charbons, exposés au soleil depuis onze heures jusqu'à quatre, à l'abri du vent, diminuèrent de poids; le premier de 33 grammes, le second de 25. Triturés cinq ou six jours après la carbonisation, ils ne s'enflammèrent pas, quoiqu'en grande masse; il est à remarquer qu'après

avoir satisfait leur pouvoir absorbant avant la pulvérisation, celle-ci les a disposés à absorber encore plus que leur volume d'air atmosphérique.

Le soufre ajouté au charbon en diminue beaucoup la propriété absorbante. Du charbon distillé, trituré dix heures après sa confection avec du soufre en poudre, dans la proportion de 12k.5 à 10k, ne présenta pas d'inflammation, quoique formant une masse de 66k. La température du mélange ne s'éleva que de 34 degrés au-dessus de celle de l'atelier, et l'augmentation de poids ne fut que de 200 grammes. La matière n'est pas aussi fluide que le charbon seul, et à poids égal elle occupe un plus grand volume.

Le salpêtre jouit, à l'égard du charbon, de la même propriété que le soufre. Une tonne remplie de 78k. de salpêtre et de 25k. de charbon récemment distillé, bien loin de s'enflammer spontanément, ne s'échauffa que de 23° au-dessus de la température de l'atelier. En faisant par conséquent dans les poudreries des triturations binaires du charbon avec le soufre, et surtout avec le salpêtre, on n'a pas à craindre d'inflammation spontanée.

Dans toutes les expériences dont on vient de rendre compte, on a tenu note exacte de l'état du baromètre, de l'hygromètre et du thermomètre; mais on a cru pouvoir se dispenser, dans cet

extrait, de rapporter les observations qu'on avait faites, parce que les variations météorologiques n'ont paru avoir aucune influence sensible sur l'inflammation spontanée du charbon.

Résumé.

Le charbon trituré dans des tonnes avec des gobilles de bronze, parvient à un état de division extrême; il a alors l'apparence d'un liquide onctueux, et occupe un espace trois fois plus petit qu'en bâtons de 15 à 16 centimètres de longueur.

Dans cet état de division, il absorbe l'air beaucoup plus promptement que lorsqu'il est en bâtons; l'absorption est cependant encore assez lente, et demande plusieurs jours pour se terminer; elle est accompagnée d'un dégagement de chaleur que l'on doit regarder comme la véritable cause de l'inflammation spontanée du charbon, et qui s'élève à 170 ou 180 degrés.

L'inflammation se détermine vers le centre de la masse, à 12 ou 15 centimètres au-dessous de sa surface; la température est constamment plus élevée en cet endroit que partout ailleurs.

Il doit s'établir par conséquent, vers les bords de la masse, un courant d'air descendant, qui s'infléchit vers le centre, et devient vertical, sans pénétrer vers les parties inférieures de la masse, où la température s'élève très-peu. C'est

pour cette cause qu'une portion seulement du charbon prend part au phénomène ; le reste sert de corps isolant et conserve la chaleur au centre de la masse.

Les variations du baromètre, du thermomètre et de l'hygromètre n'ont paru avoir aucune influence sensible sur l'inflammation spontanée du charbon ; si cette influence existe, les expériences n'ont pas été assez multipliées pour la faire apercevoir.

Le charbon noir, fortement distillé, s'échauffe et s'enflamme plus facilement que le charbon roux ou peu distillé, et que le charbon fait dans des chaudières.

Le charbon noir distillé, le plus inflammable des trois, doit être en masse de 30k. au moins pour que l'inflammation se détermine spontanément; pour des charbons moins inflammables, l'inflammation n'a lieu qu'avec des masses plus considérables.

En général, l'inflammation est d'autant plus sûre et plus prompte, qu'il s'écoule moins de temps entre la carbonisation et la trituration.

Non-seulement l'air est indispensable pour l'inflammation spontanée du charbon; mais il faut encore qu'il ait un libre accès à sa surface.

Le poids dont augmente le charbon jusqu'au moment de son inflammation, n'est pas dû

uniquement à la fixation de l'air; il est aussi dû en partie à l'absorption de l'eau.

Pendant la trituration, l'air n'éprouve aucune altération de la part du charbon, il n'en éprouve pas non plus jusqu'au moment de l'inflammation.

Le soufre et le salpêtre, ajoutés au charbon, lui ôtent la propriété de s'enflammer spontanément; cependant il y a encore absorption d'air et échauffement; et bien que l'élévation de la température ne soit pas très-grande, il sera prudent de ne pas laisser ces mélanges en trop grandes masses après la trituration.

SUITE

DE LA

DESCRIPTION DES INVENTIONS

RELATIVES AUX ARMES,

EXISTANT AU DÉPOT CENTRAL DE L'ARTILLERIE.

Fusils à plusieurs coups.

Plusieurs des armes de cette série contiennent deux réservoirs, l'un pour la poudre et l'autre pour les balles. Les différens mécanismes sont disposés de manière que le mouvement des pièces mobiles amène la balle dans le canon et la charge de poudre immédiatement derrière, en même temps que le bassinet se remplit de poudre, que la batterie se ferme et que le chien s'arme.

Aux inconvéniens signalés pour les fusils se chargeant par la culasse, savoir : l'encrassement qui arrête le mouvement des parties mobiles, le défaut de solidité, les dégradations produites par les gaz qui se développent au moment de

l'explosion, se joint, pour les fusils à réservoirs, le danger de l'inflammation du réservoir de la poudre, danger qu'il est difficile de ne pas reconnaître, même dans ceux où l'on a pris le plus de soins pour l'éloigner.

Aussi ces armes sont-elles restées dans la classe des inventions plus ingénieuses qu'utiles, et n'ont-elles paru jusqu'à ce jour susceptibles d'aucune application.

Dans la même série, se trouvent les armes qui ont autant de canons qu'elles peuvent tirer de coups sans être rechargées. Les plus simples sont les fusils connus de tout le monde, à deux canons placés à côté l'un de l'autre ou l'un sur l'autre; mais leur poids et l'obligation de les charger par la bouche, leur ont toujours fait préférer, pour la guerre, les fusils à un coup.

Enfin on a essayé, au moyen du chargement par la culasse, de construire des armes pouvant recevoir plusieurs charges qui viennent se placer successivement, pour être tirées avec le même canon. De nombreux essais ont été faits dans ce système, et on en voit dans le Musée de l'artillerie qui sont antérieurs même aux fusils à silex. On se bornera à faire connaître le fusil représenté *Pl. XI*, *fig.* 3e., qui présente dans ce genre les dispositions les plus ingénieuses.

On n'a pas compris le fusil à vent dans ces descriptions, quoiqu'on puisse le considérer comme

une arme à réservoir et à plusieurs coups, parce que sa construction est généralement connue.

Nota. On a conservé dans les planches la notation adoptée pour les lignes, dans le dernier numéro du *Mémorial.*

PLANCHE IX.

Fusil à vingt-quatre coups par un seul canon, appelé fusil de Louis XV.

Le tonnerre et le canon sont réunis par un arbre, et maintenus en place par le pivot d'un ressort passant sur le devant de la sous-garde; ce pivot sort de son entaille, et permet au tonnerre de tourner de gauche à droite. En ramenant le tonnerre en place, le fusil se trouve chargé, amorcé, armé et prêt à faire feu.

A. Le fusil fermé, vu du côté opposé à la platine.
B. Le canon, avec les réservoirs des balles et de la platine.
C. Le tonnerre.
D. Le barillet.
E. Cames fixées sur l'arbre qui réunit le canon au tonnerre.
F. Levier brisé qui enfonce la balle dans le canon.
a. Arbre qui réunit le canon et le tonnerre.
b. Ressort, dont le pivot *c* entre dans l'entaille *d*, et maintient les deux parties du fusil.

e. Levier porté par le devant de la sous-garde, et sur lequel on presse pour faire sortir le pivot *c* de son entaille.
f. Réservoir des balles.
g. Réservoir de la poudre.
h. Tringle qui fait tourner le barillet *k* qui reçoit la charge de poudre.
l. Tube qui conduit la charge de poudre du barillet *k* dans le tonnerre.
m. Levier qui fait tourner la tringle *h*.
n. Chambre qui reçoit la charge de poudre.
o. Cavité qui reçoit la balle, et la porte devant l'orifice du canon.
p. Bassinet.
q. Ouverture qui laisse tomber l'amorce dans le bassinet.
r. Levier qui ferme le bassinet et empêche l'amorce de se perdre.

Lorsque le fusil est fermé, la cavité *o* communique avec le réservoir des balle *f*, qui en laisse tomber une dans cette cavité. La came *s* soutient la tête *t* du levier à deux branches *u*, et arrête l'effet du ressort *v* logé dans la queue de culasse; mais pendant le mouvement du tonnerre, la tête du levier n'est plus soutenue, et la pression du ressort amène l'extrémité du levier contre la balle qui est poussée dans le canon, à la fin du mouvement du tonnerre.

Dans le même temps l'épaulement x entraîne le levier m de la tringle h qui fait tourner le barillet, dont l'ouverture supérieure y communique avec le réservoir de la poudre g, et qui contient un peu plus que la poudre nécessaire pour la charge et l'amorce. L'ouverture inférieure z laisse tomber cette poudre dans le tube l en passant sur l'ouverture a' ; de manière que pendant le mouvement, le conduit q en fournit une partie au bassinet p, et la chambre n se remplit en arrivant vis-à-vis ce tube. En ramenant le tonnerre en place par un mouvement contraire, l'arme se trouve chargée et amorcée. L'excédant de poudre que contient encore le tube l tombe alors dans la cavité b' et se perd par l'ouverture c'.

Le levier r, destiné à fermer le conduit q, pour empêcher l'amorce de se perdre à ses extrémités d' et g' successivement entraînées par les saillies f' et e' de la came h', prend les deux positions indiquées sur le dessin ; et l'appendice k' de la noix, en frottant contre la même came, force le chien à s'armer, tandis que le rebord l' du derrière du canon soulève le talon de la batterie et l'abat sur le bassinet.

Un second mouvement du tonnerre amène une seconde charge, et l'on peut continuer à tirer ainsi jusqu'à l'entier épuisement des réservoirs de poudre et de balles, qui peuvent contenir vingt-quatre coups.

PLANCHE X. — Figure 1re.

Dans un robinet qu'on fait tourner à l'aide d'un levier extérieur, sont pratiquées deux cavités pour recevoir, l'une la balle et l'autre la charge de poudre. A la fin du mouvement du robinet, ces cavités se trouvent respectivement placées devant les ouvertures des réservoirs des balles et de la poudre, situés devant l'intérieur de la crosse; de sorte qu'en ramenant le levier en place, la première laisse tomber la balle dans le canon en passant dans son orifice, et la seconde, remplie de poudre, vient se placer immédiatement derrière. Dans le même temps, le bassinet, qui fait corps avec le robinet, tourne dans un magasin particulier des amorces et se remplit de poudre, tandis qu'un taquet fixé sur la face latérale du robinet fait armer le chien et fermer la batterie.

a. Robinet.
b. Chambre ou cavité qui reçoit la poudre.
c. Cavité qui reçoit la balle.
d. Levier, pour faire tourner le robinet.
e. Taquet, dont la partie antérieure presse contre un levier porté par le chien, et l'oblige à s'armer.
f. Épaulement du taquet, qui rencontre le pied de la batterie et l'abat sur le bassinet.

g. Bassinet.

h. Conduit qui communique au réservoir de la poudre.

i. Conduit qui communique au réservoir des balles.

l, *l*. Ressort qui ramène en place l'obturateur du conduit de la poudre, après le mouvement du robinet.

m. Coulisse dans laquelle glisse l'obturateur du conduit de la poudre.

n. Ressort qui maintient en place le levier *d*.

b' c' d' c'. Position de la chambre, de la cavité qui reçoit la balle, du levier, et du taquet, à la fin du mouvement.

Figure 2e.

Dans ce fusil, un robinet vertical, percé d'un conduit de même diamètre que le canon, et placé en avant du fond de l'âme, reçoit son mouvement de rotation de la sous-garde, qui est mobile autour d'un pivot. Celle-ci porte un dé qui communique avec le réservoir de la poudre, et qui peut contenir l'amorce et la charge, qu'elle verse, à la fin de son mouvement, dans un canal latéral communiquant alors avec la nouvelle position du conduit du robinet, et dans lequel la poudre arrive. Le robinet se trouve aussi en communication avec le réservoir des

balles qui lui en fournit une, et en ramenant la sous-garde en place, une portion de la poudre tombe dans le bassinet et la charge au fond du canon, la balle par-dessus.

Une roue dentée, placée au-dessous du robinet et mobile avec lui, fait mouvoir dans l'intérieur de la platine une crémaillère, dont le mouvement amène le chien au bandé et ferme la batterie.

a. Robinet.

b. Sous-garde mobile.

c. Dé qui reçoit la poudre du réservoir *d*, et qui est fermé comme lui par un obturateur lorsqu'ils se séparent.

e. Position de l'obturateur du dé, lorsque celui-ci communique avec le réservoir de la poudre.

ff. Canal par lequel la poudre du dé tombe dans le robinet.

gg. Canal qui reçoit du robinet l'amorce et l'amène dans le bassinet.

hh. Réservoir des balles.

l. Roue dentée qui fait armer le chien et fermer la batterie.

b' c'. Position de la sous-garde et du dé à la fin du mouvement.

PLANCHE XI. — Figure 1re.

Le canon de ce fusil est percé en dessous de deux trous fermés par un tiroir que met en mouvement une sous-garde tournante. L'un communique avec le réservoir des balles placé dans l'intérieur du fût, et l'autre reçoit la charge de poudre, d'un dé fixé sur la sous-garde. Une roue dentée fait armer le chien, fermer la batterie et amorcer le bassinet.

A. Le fusil vu latéralement.
B. Le canon vu en dessous.
C. Mécanisme qui fait mouvoir le tiroir.
aa. Ouvertures du canon.
bb. Tiroir qui ferme ces ouvertures.
cc. Réservoir des balles.
d. Réservoir de la poudre.
e. Dé qui reçoit la charge de poudre.
f. Conduit qui transmet la charge du dé au canon.
gg. Roues dentées et crémaillère qui font mouvoir le tiroir.
h. Roue dentée qui agit sur une crémaillère de la platine, et qui fait fermer la batterie, armer le chien, et tomber l'amorce dans le bassinet.
m e' m. Position de la sous-garde à la fin du mouvement.
ll. Coulisses dans lesquelles se meut le tiroir.

Figure 2e.

Dans ce fusil le canon est traversé par un tiroir qu'une sous-garde tournante fait mouvoir de gauche à droite. Ce tiroir porte la chambre, et une cavité qui reçoit une balle d'un tube logé dans le fût et contenant un certain nombre de balles. A la fin du mouvement, la balle est poussée dans le canon; et la charge de poudre, portée par un dé sur la sous-garde, tombe dans la chambre, qui transmet l'amorce au bassinet. Dans le même temps une roue dentée fait mouvoir une crémaillère qui arme le chien et ferme la batterie; en ramenant la sous-garde en place, la chambre revient se placer dans le prolongement de l'âme, et une nouvelle balle tombe dans la cavité pratiquée pour les recevoir.

A. Le fusil vu latéralement.
B. Le tiroir en place vu par-dessous.
C. Position du tiroir à la fin du mouvement de la sous-garde.
a. Le tiroir.
b. La chambre.
c. Cavité qui reçoit la balle.
d. Conduit qui amène l'amorce dans le bassinet.
d'. Ouverture par laquelle l'excédant de poudre se perd.

e. Canal dans lequel le dé verse la poudre.

f. Dé fixé sur la sous-garde, et qui communique avec le réservoir de poudre.

g. Roue dentée qui fait armer le chien et fermer la batterie en agissant sur une crémaillère de la platine.

h. Pivot placé excentriquement sur la roue dentée.

l. Fourche qui reçoit son mouvement du pivot *h*, et qui fait mouvoir le tiroir.

n,n. Levier brisé, auquel est fixé la fourche *l*, et qui tient au tiroir par la vis *v*.

o,o. Levier brisé qui entre dans la cavité *c*, et enfonce la balle dans le canon.

p. Conduit qui reçoit les balles du réservoir placé dans le fût.

q. Appendice qui empêche les balles de tomber, lorsque le tiroir n'est pas en place.

m,f,n. Position de la sous-garde à la fin du mouvement.

Figure 3e.

Fusil à cinq coups par un seul canon.

Le canon porte un arbre autour duquel tourne un barillet contenant cinq chambres, que l'on charge d'avance. Les chambres sont successivement amenées devant le canon, et s'ajustent

avec lui par un seul assemblage à étui et par la pression d'un ressort à boudin. La noix porte un appendice qui, lorsque le chien s'abat, fait presser un tiroir sur le fond du barillet et l'empêche de céder à la force du recul. Enfin, la batterie porte un réservoir d'amorces qui les laisse tomber dans le bassinet en fermant la batterie.

A. Le fusil vu latéralement; il présente une coupe du barillet.
B. Le fusil vu en dessus.
C. Le barillet vu de face.
a. Le canon.
b. L'arbre autour duquel tourne le barillet.
c. Les chambres.
d. Ressort à boudin qui fait joindre les chambres au canon, et dont il faut vaincre la pression quand on veut tourner le barillet.
e. Tiroir qu'entraîne le chien en s'abattant, et qui maintient le barillet pendant l'inflammation de la charge.
f. Appendice du canon servant à le réunir avec la pièce de culasse.
g. Bassinet.

FIN DU TROISIÈME NUMÉRO.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

FIN DE LA TABLE.

